

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA
FACOLTÀ DI AGRARIA**

**DOTTORATO DI RICERCA IN SCIENZE E TECNOLOGIE ALIMENTARI
XXII CICLO**

**POTENTIALITÉS NUTRITIONNELLES ET ANTIOXYDANTES
DE CERTAINES PLANTES ALIMENTAIRES SPONTANÉES ET
DE QUELQUES LÉGUMES ET CÉRÉALES CULTIVÉS EN CÔTE
D'IVOIRE.**

Tutor:

Chiar.mo Prof. Furio Brighenti

Chiar.mo Prof.ssa Nicoletta Pellegrini

Coordinatore del dottorato:

Chiar.mo Prof. Germano Mucchetti

Dottorando:

Dott. Denis Yao N'Dri

ANNO ACCADEMICO 2009-2010

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION	7
1. INTRODUCTION A L'ARGUMENTATION DE LA THESE	8
2 REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	10
2.1 Présentation de la zone d'étude	
2.1.1 Situation géographique et démographique de la Côte d'Ivoire	
2.1.2.1. Situation avant l'ajustement.	
2.1.2 Situation économique	
2.1.3 Situation sociopolitique actuelle	
2.1.4 Impact des politiques sur les performances du secteur agricole et alimentaire	
2.1.5 Effort du secteur agricole	
2.1.5.1 Production végétale 2002/2003	
2.1.6 Problèmes liés à la situation alimentaire en Afrique de l'Ouest	
2.1.7 Effets des réformes sur les situations agricole et alimentaire de la Côte d'Ivoire	
2.1.8 Conséquence et besoins d'assistance	
2.1.8.1. Nombre de bénéficiaires et besoins alimentaires par type d'intervention	
2.2 Habitude alimentaire en Côte d'Ivoire	
2.2.1 Plantes alimentaires spontanées ou cultivées en Côte d'Ivoire	
2.3 Situation nutritionnelle actuelle en Afrique subsaharienne et en Côte d'Ivoire	
2.3.2. Maladies liées à une alimentation en excès en Afrique subsaharienne.	
3 ELEMENTS PRIS EN COMPTE PAR CETTE ETUDE	43
3.1 Humidité	
3.2 glucides	
3.3 Lipides	
3.4 Protéines	
3.5 Antioxydants	
3.5.1 Polyphenols	
3.5.2 Caroténoïdes	
3.5.2.1 β-carotène	
3.5.2.2. α-carotène	
3.5.2.3 Lycopène	
3.5.3 Vitamine C	
3.5.4 Capacité Antioxydante Totale (TAC)	
3.5.4.1 Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP)	

3.5.4.2 Total Radical-Trapping Antioxidant Parameters (TRAP)	
3.5.4.3 Trolox Equivalent Antioxidant Capacity (TEAC)	
REVUE BIBLIOGRAPHIQUE GENERALE	60
CHAPITRE 2 : COMPOSITION AND ANTIOXIDANT PROFILE OF TWO IVORIAN TYPICAL WILD VEGETABLES USED IN TRADITIONAL RECEPES	66
CHAPITRE 3 : ANTIOXIDANT CONTENT OF IVORIAN GNAGNAN (<i>Solanum indicum</i> L.) AT DIFFERENT MATURITY STAGE	74
CHAPITRE 4 : EFFECT OF COOKING ON THE TOTAL ANTIOXIDANT CAPACITY AND PHENOLIC PROFILE OF SOME WHOLE-MEAL AFRICAN CEREALS	92
CHAPITRE 5 : CONCLUSION	110

QUELQUES ABREVIATIONS.

FAO	Organisation des Nations Unies pour L'Agriculture
SMIAR	Service Mondial d'Information et d'Alerte Rapide
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
VIH/SIDA	Virus d'Immunodéficience Humaine/ Syndrome d'Immuno Déficience Acquis
PIB	Produit Intérieur Brut
INS	Institut National de la Statistique
CIDT	Compagnie Ivoirienne pour le Développement du Textile
CNRA	Centre National de Recherche Agronomique
CFA	Communauté Française d'Afrique
BAD	Banque Africaine de Développement
MPARH	Ministère de la Production Animale et Ressources Halieutiques
FNUAP	Fonds des Nations Unies pour la Population
PAM	Programme Alimentaire Mondial
UNICEF	United Nation International Children's Emergency Fund's
PDI	Personnes Déplacées de l'Intérieur
AIDS = SIDA	
OMD	Objectifs du Millénaire pour le Développement
VCT	Vivres Contre Travail
ONG	Organisation Non Gouvernementale
HCR	Haut Commissariat pou les Réfugiés
HDL	Lipoprotéine à Haute Densité
LDL	Lipoprotéine à Faible Densité
USDA	United States Department of Agriculture
FAS	Foreign Agricultural Services
MINAGRA	Ministère de l'Agriculture et des Ressources Animales
GNIS	Groupement National Interprofessionnel des Semences et Plants
SSP	Soins de Santé Primaire
AFRO	Bureau Régional de l'OMS pour l'Afrique
MPE	Malnutrition Protéino-Energétique
EDS	Enquête Démographique et de Santé
TDCI	Troubles Liée à la Carence d'Iode
IG	Index Glycémique
AGPI	Acides Gras Polyinsaturés

UPN	Utilisation Protéique Nette
ROS	Espèces Réactives de l'Oxygène
OPC	Oligomères Procyanidoliques
D	Dalton
VLDL	Lipoprotein Very Low Density
NADPH	Nicotinamide Adenine Dénucléotide Phosphate Hydrogenase
ADN	Acide Désoxyribonucléique
TAC	Capacité Totale Antioxydante
FRAP	Ferric Reducing Antioxidant Power
PTPZ	Tripyridyltriazine
TRAP	Total Radical-Trapping Antioxidant Parameters
ABAP	2,2'-diazobis 2-amidinopropane hydrochloride
TEAC	Trolox Equivalent Antioxidant Capacity

Chapitre 1: Introduction

1 INTRODUCTION A L'ARGUMENTATION DE LA THESE

En Afrique subsaharienne et en particulier en Côte d'Ivoire, la plupart des mets sont accompagnés de sauces. Constituées de légumes, légumineuses, de feuilles et de bourgeons; complémentées ou non de poisson et/ou de viandes, les sauces apportent les nutriments non comblés par les céréales les racines et les tubercules. Cependant, force est de constater que cette région de l'Afrique est de plus en plus affectée par les problèmes de faim et de malnutrition, surtout de malnutrition protéino-énergétique chez l'enfant (**Schofield et Ashworth, 1996¹; Brabin et Coulter, 2003²; FAO, 2004³**). C'est un paradoxe quand on sait que l'ensemble des ingrédients qui entrent dans la composition de ces sauces est constitué de plantes cultivées et non cultivées abondamment réparties dans cette sous-région africaine. Parmi les plantes cultivées on pourra faire référence à l'arachide (*Arachis hyppogea*), le gombo (*Hibiscus esculentus*) frais ou sec, la graine mûre de palmier (*Elaïs guineensis*), les feuilles fraîches de taro (*Colocasia antiquorum*) et de patate douce (*Ipomoea batatas*). Ces plantes constituent les plus communs et importants ingrédients qui entrent dans la confection des sauces des populations. Elles sont utilisées pour l'assaisonnement et l'accompagnement des mets quotidiens (**Mosso et al., 1998⁴**). Le pois de terre (*Vigna subterranea*) de la famille des *Fabaceae* entre dans les préparations culinaires soit comme ingrédient épaississant des sauces, soit comme casse-croûte (snack). Riches en protéines 16 à 25% et oligoéléments, les amandes constituent selon (**Linnemann et Azam-Ali, 1993⁵**) une excellente source d'hydrates de carbone 42 à 65%. Elles contiennent également des substances comme cyanidine, malvidine et delphinidine et des glycosides (**Mazza et Miniati, 1996⁶**).

Plusieurs plantes non cultivées, communément appelées plantes alimentaires spontanées existent aussi en Côte d'Ivoire et leur qualité alimentaire et nutritive est très appréciée par les populations. En plus, certains auteurs (**Agrahar-Murugkar et Subbulakshmi, 2005⁷**) ont montré qu'elles contiennent de la vitamine C, des caroténoïdes et substances alcaloïdes et des fibres alimentaires. Les plus utilisées en Côte d'Ivoire sont: les *Sterculiaceae*, les *Arecaceae*, les *Solanaceae* et les *Euphorbiaceae* (**N'dri et al., 2008⁸**). Les céréales telles que le sorgho (*Sorghum Guinea-bicolor*), le mil (*Pennisetum glaucum L.*) et le fonio (*Digitaria exilis*) constituent les principaux aliments de base dont la consommation est associée à des sauces.

Ces céréales riches en hydrates de carbone, sont aussi d'excellents aliments énergétiques. Outre la consommation en tant qu'aliment de résistance et de réserve, on en fait de délicieuses bouillies pour enfant.

Malgré la diversité des sauces pour combler le déficit protéique des céréales, la malnutrition sévit toujours dans nos pays en développement. Les causes de ce paradoxe sont nombreux. Entre autres

la non disponibilité et le coût des aliments (Sahn, 1994⁹; Straus, 1990¹⁰), mais et surtout la méconnaissance de la qualité nutritive de ces plantes et le manque de choix judicieux dans la confection des régimes alimentaires. En effet, dans les pays en développement la situation alimentaire connaît des difficultés liées aux conflits incessants, à la sécheresse persistante, aux pandémies (VIH), aux mauvaises orientations des politiques agricoles, à la démographie galopante et incontrôlée etc., qui vont dégrader la situation d'année en année et compromettre durablement l'état alimentaire et nutritionnel de nombreuses populations de toute cette partie du continent africain (FAO/SMIAR, 2004¹¹).

Au regard des qualités spécifiques que renfermeraient ces plantes, une connaissance scientifique approfondie de la valeur nutritionnelle et antioxydante des ingrédients utilisés pour la préparation des sauces pourrait aider à élaborer des régimes alimentaires complets et équilibrés. De plus, la disponibilité de ces plantes et leur culture aisée dans cette région seraient le gage d'une contribution essentielle à la lutte contre la faim et la pauvreté dans cette partie de l'Afrique particulièrement dans le dénuement et à la merci des aléas climatiques.

Cette étude entend contribuer à la valorisation et à orienter la confection de régimes complets à partir de certains aliments locaux d'origine végétale qui entrent dans les habitudes alimentaires des populations de Côte d'Ivoire par la détermination du contenu en substances antioxydantes et nutritives de ces plantes, légumes et céréales afin que, avec conscience, tout consommateur tienne compte de leur importance.

En ce qui concerne les plantes alimentaires spontanées le *Ricinodendron heudelotii* et le *Solanum indicum* seront étudiées. Les plantes cultivées visées sont: le pois de terre (*Vigna subterranea*) et les céréales telles que le sorgho (*Sorghum Guinea-bicolor*), le mil (*Pennisetum glaucum L.*), et le fonio (*Digitaria exilis*).

Il s'agira de façon spécifique de:

- effectuer l'analyse biochimique (du *Ricinodendron heudelotii* et de la *Vigna subterranea*);
- évaluer la valeur des substances antioxydantes de toutes ces plantes qui entrent dans la confection des mets en Côte d'Ivoire;
- suggérer la formulation de mets complets et fonctionnels facilement accessibles aux populations.

2 REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

2.1 Présentation de la zone d'étude.

2.1.1 Situation géographique et démographique de la Côte d'Ivoire.

La Côte d'Ivoire s'étend sur 322 462 km², soit 1% de la superficie totale de l'Afrique.

La Côte d'Ivoire est située dans l'hémisphère nord entre le tropique du cancer et l'équateur et donne sur l'océan atlantique par le golfe de Guinée. Plus précisément, ses coordonnées sont comprises entre le 10° et le 4° de latitude nord et le 10° et le 0° de longitude ouest. La Côte d'Ivoire a 3 110 kilomètres de frontières communes avec 5 pays:

- le Libéria au Sud Ouest, 716 km
- le Mali au Nord Ouest, 532 km
- la Guinée à l'Ouest, 610 km
- le Burkina Faso au Nord Est , 584 km
- le Ghana à l'Est, 668 km

La capitale administrative, Yamoussoukro (au Centre) compte plus de 300 000 habitants et la capitale économique Abidjan (au Sud) compte plus de 4 000 000 d'habitants.

Avec une superficie de 322 462 km² soit 318002 km² de terres et 4460 km² de mers, la Côte d'Ivoire est pays de taille moyenne. Elle possède 515 km de côtes maritimes et comprend des plateaux étagés, aux marches escarpées, formant parfois des corniches, la Côte d'Ivoire est essentiellement plane.

Au Nord et au Centre du pays, l'altitude est supérieure à 200m et le paysage est plat. C'est la zone des plateaux aux pentes faibles et à plusieurs étages. Néanmoins ces plateaux présentent quelquefois un relief tourmenté: la chaîne Baoulé de plusieurs collines de 500 à 600m, des buttes appelées «boka» aux versants raides et sommets plats, des dômes de roches nues dans les régions de Séguéla, Mankono etc.

A l'Ouest du pays, une rupture plus franche annonce les montagnes: l'ensemble du massif de Man, seule formation orogénique du pays, révèle les paysages mamelonnés du massif des Touba et du massif des Dan. Ils élèvent leurs sommets, mont Tonkui (1293m), mont Momi (1302m), tous les deux dominés, au point de convergence du Libéria, de la Guinée et de la Côte d'Ivoire, par le puissant mont Nimba aux murailles burinées qui culmine à 1750m.

A partir de la frontière avec le Libéria jusqu'à la ville de Fresco sur l'océan atlantique, la côte est rocheuse et présente une succession de criques avec de belles plages et quelques falaises. Suite aux falaises, le littoral est constitué par endroit de bandes de sable situées entre l'océan et les nombreuses et différentes lagunes bordées de palétuviers qui se tendent à perte de vue.

Cette position géographique explique, d'une part, les variations climatiques et les deux principales zones de végétation (la forêt au Sud et la savane au Nord) et, d'autre part, la présence de diverses maladies dont certaines sont endémiques et spécifiques à ces zones.

La Côte d'Ivoire est divisée en trois grandes zones agro-écologiques, à savoir les zones: guinéenne (50%), soudano-guinéenne (19%) et soudanaise (31%). La zone guinéenne localisée au Sud est la plus pluvieuse et comprend pratiquement toute la région forestière. Elle est caractérisée par quatre saisons: une grande saison sèche (décembre à mars), une grande saison de pluies (mars à juin), une petite saison sèche (juillet à août) et enfin une petite saison de pluies (septembre à novembre). La moyenne de la pluviométrie y dépasse les 1800mm. La zone soudano-guinéenne est une zone de transition entre la zone forestière et celle du Nord. Elle est caractérisée par quatre saisons dont une grande saison sèche (novembre à février), une grande saison de pluies (mars à juin), une petite saison sèche (juillet à août) et une petite saison de pluies (septembre à octobre). La zone soudanaise est située plus au Nord; il y pleut moins qu'ailleurs dans le pays, avec essentiellement deux saisons: une saison de pluies courte et une saison sèche bien marquée. Une végétation du type Savannah propice à la culture des céréales est prédominante.

Le pays se caractérise par sa diversité ethnique. Ainsi on y trouve plus d'une soixantaine d'ethnies qui constituent 74% de la population totale, repartit en 4 groupes (les Akans, les Krous, les Mandés, et les Gurs ou Voltaïques), avec une diversité religieuse (animismes, catholicisme, islam et protestantisme).

Sur le plan administratif, le pays se subdivise en 19 régions, 56 départements, 244 sous-préfectures dont 234 sont fonctionnelles, 2 districts autonomes (Abidjan et Yamousoukro), 198 communes et plus de 12 000 villages.

En novembre 1998, le recensement général de la population et de l'habitat a permis de dénombrier 15 366 672 habitants dont 57% vivaient en zone rurale et 43% en zone urbaine. Les moins de 15 ans représentaient 43% de la population et le taux d'accroissement moyen annuel était de 3,3%. Sur la base de ce taux d'accroissement, la population totale a été estimée à 20 581 770 en 2007. La dynamique de peuplement du pays est caractérisée par le fort taux de natalité et l'intensité des flux migratoires, ce qui explique la forte présence de populations étrangères (26% de la population totale). Le taux de fécondité est passé de 7 enfants part femmes entre 1975 et 1980 à 5 enfants entre 1994 et 1996 et était estimé à 4,7 en 2003. En ce qui concerne l'alphabétisation au plan national, on constate qu'en l'an 2000, environ 63% des femmes et 37% des hommes étaient encore analphabètes. Il est probable que la situation se soit dégradée en raison de la crise sociopolitique que le pays traverse depuis plusieurs années. Depuis quelques années on assiste à une baisse continue de l'espérance de vie à la naissance. Selon **OMS**, l'espérance de vie corrigée de l'incapacité

est passée de 43 ans à 38 ans en 3 ans dans la population générale, en raison notamment de l'apparition de l'épidémie du **VIH/SIDA**.

2.1.2 Situation économique.

Depuis son indépendance le 7 Août 1960, l'économie du pays repose sur l'agriculture qui absorbe plus de 60% de la main d'œuvre active. Les principaux produits agricoles sont le café, le cacao, le palmier à huile et les bananes. Premier producteur mondial de cacao et cinquième producteur mondial de café, la Côte d'Ivoire a longtemps souffert des fluctuations des prix sur le marché mondial de ces produits hautement spéculatifs et a été contrainte de s'endetter lourdement même si des programmes de diversification des cultures pérennes, industrielles (hévée, palmier à huile, anacardes, bois etc) ont été lancés. Le produit intérieur brute (**PIB**) est passé de 6 833 milliards de francs **CFA** en 1999 à 8 023 milliards en 2003 tandis que le service de la dette extérieure a baissé de 655 milliards en 2000 à 595 milliards en 2004. Le cumul de la dette était de 6 200 milliards au début des années 80. Le taux de croissance économique était de 4,7% pour l'année 1999 avec un taux d'inflation égale à 0,8% contre 2,8% en 1998 et 5,2% en 1997. Le coup d'état survenu le 24 décembre 1999 a privé la Côte d'Ivoire des financements extérieurs. L'indice de développement humain estimé à 0,399 en 2004 classe le pays au 163ème rang sur 175.

Le port autonome d'Abidjan constitue l'un des poumons de l'économie et permet surtout de desservir les pays enclavés du Nord comme le Burkina Faso, le Mali, le Niger. Pendant des décennies, la richesse relative du pays par rapport aux autres de la sous région en a fait une zone d'attraction. L'augmentation de la taille des ménages et surtout du taux de dépendance du fait de la perte de l'emploi de la plupart des déplacés a entraîné une plus grande paupérisation de la population ivoirienne, exacerbant ainsi le niveau de pauvreté général causé par le ralentissement des activités économiques. Le taux du produit intérieur brut (**PIB**) est passé de 0,1% en 2001 à - 1,6% en 2002 au lieu du taux positif attendu de 3% selon les prévisions macro-économiques pour la même année. La situation de stagnation qualifiée de «ni paix, ni guerre» que connaît le pays depuis le début de l'année 2003 n'est pas de nature à relever le taux du (**PIB**), faisant ainsi peser le poids du nombre des personnes déplacées sur les populations d'accueil. Les enquêtes sur les conditions de vie des ménages réalisées par l'Institut National de la Statistique (**INS**), ont révélé, sur la base du seuil de pauvreté estimé à 145 000 FCFA en 1995 et 160 000 FCFA en 2004, le taux de pauvreté qui était de 36,8% en 1995 est passé à 45% en 2004. La pauvreté est inégalement répartie dans le pays; elle est plus marquée à la campagne qu'en ville. Dans le cadre de la lutte contre la pauvreté, il a été élaboré, en collaboration avec plusieurs partenaires, un document de stratégie de réduction de la pauvreté qui devrait permettre au pays de bénéficier de l'allègement de la dette.

Au plan économique et financière la Côte d'Ivoire est engagée dans un processus d'ajustement structurel depuis 1981. Ce processus n'a permis le rétablissement des conditions d'une croissance durable à moyen terme. En effet, la dernière période de la décennie de cet ajustement structurel laisse apparaître une aggravation des déséquilibres macro-économiques depuis 1987. Les prix à la production du cacao et du café, principales ressources d'exportation, sont réduits de moitié en 1989 à la suite de la baisse des cours mondiaux. Les mesures d'ajustement prises dès 1978 et 1981 s'inscrivent dans une logique libérale, en tant que le pays a son développement économique fondé sur le libéralisme. Mais l'Etat maintient son rôle de régulateur de l'activité dans une économie présentant un degré d'ouverture sur l'extérieur plus important que les autres pays de la région. Cette grande ouverture sur l'extérieur s'est sans doute traduite par une attention relativement moins importante accordée au développement des cultures vivrières (notamment à la conservation, transformation et valorisation) dans les politiques agricoles successivement mises en œuvre.

2.1.2.1. Situation avant l'ajustement.

La Côte d'Ivoire, à la fin des années 1970, entre dans un processus de régression profonde et durable. Alors que les revenus du commerce extérieur commençaient à présenter des signes de ralentissement, le pays, dans le but de réduire ses importations alimentaires, a lancé à la fin des années 1970 un important programme de cultures vivrières concernant notamment le riz et les cultures maraichères. Ce retour vers l'autosuffisance alimentaire devrait impliquer l'intégration des produits vivriers aux cultures d'exportation, l'aménagement des terroirs villageois et l'amélioration de la commercialisation.

Comme résultats, les cultures vivrières sont diversifiées, les productions traditionnelles couvrent les besoins en début de période de récolte (l'igname et la banane plantain, le manioc, le mil et le sorgho). Mais l'urbanisation croissante et la modification des modes de consommation ont transformé les habitudes alimentaires en accroissant les besoins en blé, en riz et en primeurs (fruits et légumes importés). Cette période va coïncider avec la période du plus fort exode rural des jeunes valides pour les travaux agricoles vers les grandes villes à la recherche d'un hypothétique emploi. Comme résultat de cette situation; beaucoup de bouche à nourrir pour peu de bras pour produire ce qui va entraîner une augmentation des importations d'aliments.

Les importations alimentaires vont comprendre en outre une part croissante de viandes et de poissons, faute d'une production nationale suffisante pour faire face à la croissance de la consommation. Elles représentaient 10 à 12% des importations totales au début de la décennie 70. En 1980, elles représentaient environ 15% des importations totales. Ainsi au-delà d'une autosuffisance en matière de céréales et de tubercules, on note, au début des années 1980, une

croissance des importations de blé, de riz, de viande et de poissons. Les besoins énergétiques de la population sont couverts en début de période à 114% selon la FAO (2626 calories/jour) pour un besoin estimé de 2 310 calories. Une part de 8% de la population est considérée comme dénutrie (apport calorique inférieur à 1570 calories). Dès 1980, trois objectifs principaux sont fixés à la politique agricole et alimentaire dans le but d'atteindre l'équilibre vivrier:

- un développement intégré des produits vivriers et des produits d'exportation,
- un accroissement de l'intensification de la productivité,
- une réorganisation du processus de commercialisation.

Suite à cette décision, la production vivrière globale en volume s'est accrue sur la période 80-89 à un taux annuel moyen de 3,2%. Les productions de manioc et d'igname représentent 58% de la production vivrière totale (soit l'essentielle des disponibilités alimentaires). Les rendements, quoique beaucoup plus élevés que ceux des céréales, restent relativement faibles et stables (9,1 tonnes à l'hectare en 1980 et 9,5 en 1989 pour l'igname et 5,2 tonnes à l'hectare en 1980 et 5,5 en 1989 pour le manioc). Le maïs est la céréale la plus importante en termes de superficies cultivées et de production. Son taux annuel moyen de croissance est de 15%. Enfin l'efficacité de l'orientation de la production agricole au travers des prix, comme instrument principal d'incitation, n'aboutit pas. Depuis septembre 2001, tout est gravement compromis par une guerre civile avec son cortège de destructions de tout genre et de toute nature.

La crise politique qui mine la Côte d'Ivoire depuis 1999 a eu des effets dévastateurs sur son économie, jadis fleuron de prospérité en Afrique sub-saharienne. Alors que le pays était bien engagé dans une phase de relance stimulée par la dévaluation du Franc CFA en 1994 avec des taux de croissance du PIB de 5% en moyenne pendant les années subséquentes, le coup d'Etat de décembre 1999 a enclenché une forte baisse de l'activité économique. Le taux de croissance a en effet chuté de 4,7% en 1998 à 1,6% puis à -2,5% en 1999 et 2000 respectivement. Ainsi, après avoir connu une croissance annuelle moyenne de 3,4% dans les années 1990, le secteur agricole a enregistré une croissance de 0,5% en 2001 et un repli de 2,6 en 2002, en raison notamment des déficits de production et d'exportation des cultures telles que le café, le coton, les produits du palmier et, dans une moindre mesure, le cacao. De même, la production industrielle a reculé de 4,2% en 2001 et de 3,2% en 2002. Nonobstant le déclin économique dépeint ci-dessus, la Côte d'Ivoire a réussi à réaliser des surplus pour sa balance commerciale en 2001 (928 millions de dollars) et en 2002 (2090 million de dollars), de même que des montants appréciables de réserves de change: 729 millions de dollars et 870 millions de dollars respectivement. La dette globale du pays se maintient environ à 16 milliards de dollars depuis deux ans et le service de la dette par rapport aux exportations a baissé d'environ 20% en 2001 à 15% en 2002, taux actuellement considéré acceptable s'agissant du

paiement de la dette.

2.1.3 Situation sociopolitique actuelle.

La Côte d'Ivoire traverse une grave crise politico-militaire, depuis le 19 septembre 2002, qui a entraîné la division du pays en deux zones. Les agences du Système des Nations Unies, les ONG (internationales, locales) et le gouvernement estiment le nombre des personnes déplacées dans la zone sous contrôle gouvernementale entre 800 000 et 1 500 000 dont près de 75% est composé de femmes et d'enfants. La dégradation de la situation dans certaine zone de culture, notamment l'Ouest, a entraîné un flux de 750 000 réfugiés Ivoiriens vers les pays voisins. Les zones précédemment assiégées incluent la zone d'accueil des réfugiés Libériens dont le nombre est estimé à un peu plus de 76 000. En raison du départ des agents des services publics, des actes de violence et de l'insécurité s'installent. Le fonctionnement de l'administration publique s'est interrompu à l'Ouest et au Nord du pays. La crise a gravement affecté le système de santé, l'agriculture, le commerce et l'éducation; cela a donné lieu à une aggravation généralisée de la pauvreté et à une détérioration des conditions socioéconomiques. Les actions entreprises pour rétablir la paix en Côte d'Ivoire, ont porté leur fruit avec le processus de réunification du pays jusqu'à lors divisé politiquement et administrativement.

2.1.4. Impact des politiques sur les performances du secteur agricole et alimentaire.

L'évaluation de l'impact des politiques d'ajustement structurel se heurte à des problèmes méthodologiques:

- La question des conditions de mise en œuvre effective des programmes par rapport aux objectifs affichés;
- L'évaluation des effets des programmes sur les performances de l'économie dans son ensemble ou du secteur agricole en particulier;
- Des difficultés telles que: adéquation entre les objectifs à atteindre et les moyens mis en œuvre; question des principes d'ouverture, d'intégration, de normalisation, d'analyse en termes de répartition et d'équité, de lutte contre la pauvreté etc., vont influencer négativement sur les résultats attendus de tout le programme de l'ajustement.

2.1.5. Effort du secteur agricole.

L'agriculture a longtemps été le fondement de l'économie de la Côte d'Ivoire. Ainsi en 2002, l'agriculture représentait 25,7% du PIB et environ 60% des recettes d'exportation; elle occupait près de 68% de la main-d'œuvre. Le pays s'étend sur 322 460 km², dont 75% sont propre à l'agriculture;

cependant, 30% seulement sont effectivement cultivés. Il existe trois zones agro-écologiques dont une côtière tropicale humide au Sud, une région relativement sèche au Nord et, entre les deux, une zone de transition. Une gamme importante de cultures peut être pratiquée dans le pays grâce à cette diversité géographique. Cependant, la crise qui perdure a mis à mal les secteurs clés de l'économie dont l'agriculture. Les communautés qui ont été les plus durement touchées sont celles situées en zones de combat ou celles qui ont été simplement envahies par des éléments des parties en conflit: les habitants ont dû fuir, laissant derrière des biens qui ont été pillés ou détruits; souvent toute la saison culturale a été ratée. En outre, les compagnies dont la plus importante est la compagnie ivoirienne pour le développement du textile (**CIDT**) qui opèrent dans ces zones ont mis fin à leur programme d'appui à la production vivrière par les producteurs de coton. Ce programme consistait en la production et distribution de semences améliorées de maïs et de riz pour les producteurs. Des troupeaux de petits ruminants, des élevages porcins, avicoles et piscicoles ont été ravagés dans les localités affectées par la guerre. Dans la zone sous contrôle gouvernementale, la production animale est entravée par le manque de maïs et de tourteaux de coton qui venaient habituellement du centre et du Nord du pays.

Pour ce qui est de la production et des intrants, selon une communication du Centre National de Recherches Agronomiques (**CNRA**) en mars 2003 intitulé «Situation actuelle du secteur agricole et perspectives du développement», 86,9% des exploitations utilisent une main-d'œuvre familiale. L'agriculture est essentiellement manuelle; seulement 4,4% des exploitations utilisent la traction animale, surtout dans le Nord où le terrain s'y adapte le mieux. Moins de 1% des exploitations disposent d'un tracteur ou d'un motoculteur; 8% possèdent des pulvérisateurs. L'utilisation des fumures est sur 18% des parcelles dont 14% reçoivent de la fumure minérale. Le CNRA estime que 40% des exploitations agricoles comportent un élevage, généralement du type traditionnel.

2.1.5.1. Production végétale 2002/03.

Au cours des années 2002/03, les superficies cultivées ont été estimées sur base des données du recensement national de l'agriculture de 2001. Les chiffres des productions, auxquels ont été incorporés des facteurs de tendance, proviennent de la FAO et des sources gouvernementales. Ces facteurs de tendance tiennent compte de l'importance relative de chaque région au niveau national s'agissant des superficies consacrées à une culture donnée. La perte ou l'augmentation de la production de cette culture dans une région telle que déclarées par les agriculteurs et les informateurs avertis ont ensuite été pondérées pour estimer la perte ou l'augmentation globale de la production au niveau national sous forme de pourcentages. L'analyse effectuée sur quelques cultures principales sur la base des superficies cultivées et de leur importance économique amène à

la description ci-après (voir tableau 1).

De manière générale, les cultures vivrières se sont développées normalement. Cependant, la période des récoltes a été fortement perturbée par les combats de septembre 2002. Les exploitations n'ont pu être entretenues convenablement en raison des déplacements massifs des populations et de l'insécurité. Les cultures vivrières se sont ainsi modifiées:

-Le riz. La perte totale des récoltes pour la campagne 2002/03 a été estimée à 13% par rapport à la campagne 2001/02; puisque plus de 60% des superficies cultivées se sont retrouvées dans les zones ayant connu les combats et les déplacements des populations. Le riz est cultivé principalement dans les régions de savanes et représente 23% des superficies cultivées. Les régions de Montagnes et du Moyen Cavally ont connu des déplacements des populations agricoles de plus longues durées. La région de Savanes a vu beaucoup de ses bras valides intégrer la rébellion, abandonnant ainsi les travaux champêtres. Les récoltes ont été insuffisamment réalisées et des pertes ont été enregistrées à cause des ravageurs de tout genre (oiseaux, insectes, rongeurs, pourritures etc.).

-Le maïs. Les grandes zones de production de maïs sont situées au Nord sous occupation de la rébellion, notamment dans les régions de Savanes (62% de la production nationale de maïs). Les récoltes de maïs pourront connaître des pertes estimées à 11% par rapport aux résultats de 2002. Les principales causes des pertes sont l'insuffisance de manque de main-d'œuvre ou des conditions d'insécurité, ce qui a entraîné des pourritures en plein champ.

-Le mil. Pratiquement la totalité de la production du mil provient du Nord du pays. Les régions de Savanes, du Zanzan et du Denguélé totalisent à elles seules plus de 95% des superficies cultivées. Elles sont toutes sous contrôle de la rébellion. Les pertes ont été estimées à 21% par rapport aux résultats de 2002.

-Le sorgho. Les régions de Savanes et du Zanzan totalisent à elles seules plus de 83% des superficies cultivées. L'insuffisance des récoltes estimées à 20% par rapport aux récoltes de 2002 est expliquée par des déplacements des populations et au départ des jeunes pour rejoindre les rangs des milices.

-L'igname. La zone de transition et le Sud comporte la plus grande superficie consacrée à la production de l'igname. Les régions de la vallée du Bandama, des Lacs et d'Agnéby représentent plus de 50% des superficies cultivées. La région de la vallée du Bandama a été fortement affectée par la guerre, mais en général, les productions d'igname n'ont pas beaucoup souffert car les récoltes sont échelonnées et dans une certaine mesure, les productions se conservent relativement bien. Toutefois, des pertes dues à des mauvaises conditions de conservation peuvent être estimées à 7% par rapport aux récoltes précédentes.

-Le manioc. L'essentiel de la production du manioc est réalisé au Sud et à l'Ouest du pays. Les

régions des Lagunes, Vallée du Bandama, Bas Sassandra, Sud Comœ et Montagnes représentent pratiquement 80% des superficies cultivées. Les récoltes de manioc n'ont pas connu beaucoup de pertes. Les populations qui retournent dans leurs villages le récoltent et le consomment ou le vendent, là où c'est possible. Quelques pertes dues à des pourritures au champ peuvent être estimées à environ 5% par rapport aux récoltes de 2001/02.

-L'arachide. L'arachide est produite dans les régions de Savanes (72% de la production nationale). Quatre régions totalisent elles seules plus de 95% des superficies cultivées. L'arachide n'a pas subi beaucoup de pertes; seules quelques récoltes tardives ont connu des pourritures ou des germinations en plein champ. Ces pertes sont estimées à 5% par rapport aux récoltes de 2002.

-La banane plantain. La banane plantain est notamment produite dans les régions d'Agnéby, Lacs, Vallée du Bandama, Sud Bandama, Lagunes, Moyen Comœ et Haut Sassandra; les récoltes sont échelonnées. Même s'il n'y a pas eu beaucoup de pertes, on note néanmoins quelques pourritures et des pertes par manque d'entretien qui peuvent surtout être évaluées à 5% par rapport aux récoltes de 2001/02.

Tableau 1. Côte d'Ivoire: production des principales cultures vivrières 1998-2003 (en milliers de tonnes).

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Moyenne 1998-2002	2003/02 (%)	2003/moyenne (%)
Riz	938	976	1036	1055	976	847	996	-13.22	-14.96
Maïs	605	675	631	615	587	523	623	-10.90	-16.05
Mil	80	76	75	73	69	55	75	-20.29	-26.67
Sorgho	32	30	30	31	30	24	31	-20.00	-22.58
Igname	2921	2944	2950	2938	2874	2674	2921	-6.96	-8.58
Manioc	1692	1681	1691	1688	1658	1576	1682	-4.95	-6.30
Plantain	1410	1402	1418	1410	1395	1322	1407	-5.23	-6.04

Sources: Base de données de la FAO (1998-2001); estimation de la mission (2002/2003).

En perspective de la campagne agricole 2003/04, l'insuffisance de la main-d'œuvre dans les zones sous contrôle de la rébellion et dans celle récemment récupérées par le gouvernement comme le moyen Cavally et l'ouest de la région des Montagnes ne permettra guère l'exploitation de grandes superficies. En outre, dans les zones sous contrôle de la rébellion, la rareté ou le manque de semences et autres intrants agricoles ainsi que le manque d'encadrement technique, l'absence de circuit bancaire et de crédit agricole, sont autant de facteurs contraignants. Cependant, grâce à

l'assistance que le gouvernement assure dans la zone sous son contrôle, les baisses importantes pour certaines cultures dans les zones du Nord et de l'Ouest, ont connu une atténuation au niveau national. Les perspectives pour la production des cultures vivrières pour 2003/04, avec les régions à risque et les pertes estimées par rapport aux niveaux de production de 2002/03 ne sont pas les plus reluisantes (tableau 2).

Tableau 2. Côte d'Ivoire: production des principales cultures vivrières 2002-2003 (en milliers de tonnes) dans différentes régions.

	Riz	Maïs	Mil	Sorgho	Igname	Manioc	Anacarde	Plantains
Niveau national	-13.2	-11.0	-20.8	-20.2	-7.0	-4.9	-20.3	-5.3
Bafing	-17.5						-17.5	
Bas Sassandra						-11.3		
Denguele	-20.0	-20.0					-20.0	
Haut Sassandra	-22.5	-22.5			-22.5			-22.5
Monta- gnes	-22.5					-22.5		
N'zi Comœ	-12.5							-12.5
Savannes	-22.5		-22.5	-22.5			-22.5	
Sud Bandama								-12.5
Vallée du Bandama		-22.5			-21.3	-21.5		-21.3
Worodou gou	-22.5	-22.5			-22.5		-22.5	
Zanzan		-16.3						

Sources: Base de données de la FAO (1998-2001) estimation de la mission (2002-2003)

Les secteurs de l'élevage et des pêches contribuent à la sécurité alimentaire non seulement en termes de protéines animales, mais également par la création d'emplois et d'activités génératrices de revenus. En 2001, la Côte d'Ivoire comptait 1 440 000 bovins, 2 649 000 ovins et caprins, 346 000 porcins et 30 millions de volailles. La production de viande s'élevait à 56 800 tonnes, couvrant environ 57% des besoins nationaux estimés à 6kg/personne/an. La production halieutique atteignait 70 000 tonnes soit 35% des 200 000 tonnes requises pour une consommation annuelle de 12kg par habitant.

Ainsi, la Côte d'Ivoire accuse un déficit structurel en protéines animales qui doit être compensé par des importations. Ce déficit devra se creuser avec la croissance démographique et l'expansion urbaine. La crise déclenchée par la rébellion militaire en septembre 2002 a aggravé le déficit en entravant la production et le commerce des produits d'élevage et de pêche à travers le pays. Ceci est illustré par les observations de la mission.

Dans la zone dite de transition ou d'accueil (Daloa, Sakassou, Tabou), la production de poisson a pratiquement cessé, les pêcheurs burkinabé et maliens étant partis suite à la crise. Ainsi, quatre poissons se vendaient pour 200 F CFA au moment de la mission contre 10 pour le même montant avant la crise. Dans les environs de Daloa, la demande excessive de viande par les militaires entrave le développement de l'élevage bovin. Il est à noter que le marché de gros des céréales de Daloa, qui recevait le maïs de la zone de Vavoua et l'expédiait aux usines de provende dans d'autres parties de la Côte d'Ivoire ainsi qu'au Mali et au Burkina Faso, ne fonctionne plus en raison de l'insécurité et des tracasseries aux barrages routiers. Ceci a particulièrement été préjudiciable à la production avicole dans la région d'Abidjan. Dans les zones sous contrôle de la rébellion, les effets de la crise ont varié selon la localité et le type d'élevage. Dans la région de Korhogo dans le Nord, les bovins n'ont guère été affectés mais les prix ont chuté de moitié, passant à 100 000 F CFA pour un bœuf sur pied. Les campagnes de vaccination habituelles contre les principales épizooties telles que la pleuropneumonie n'ont pas été menées dans les deux dernières années. Entre-temps, les mouvements inter frontaliers des animaux se sont poursuivis sans surveillance sanitaire, augmentant le risque de contamination des troupeaux locaux. De même, les mesures d'hygiène relatives à la viande ne sont plus guère appliquées, car la quasi-totalité des vétérinaires employés par le gouvernement ont quitté les localités concernées. Dans la région de Man à l'Ouest, les unités d'élevage et de pisciculture financées par les projets **bad-élevage** est en déclin suite au départ des pêcheurs étrangers. Quelques autochtones se livrent encore à la pêche, mais ils manquent d'une formation de base et d'équipement nécessaire (pirogues avec moteurs hors bord, filets et lignes améliorés). Les centres de recherches en production animale et des troupeaux expérimentaux de bovins et d'ovins améliorés ainsi que les étangs pour la production des alevins ont été pillés à maints endroits. C'est le cas des Bovins industriels de Noroningué, du Centre national ovin de Béoumi, du Programme national de sélection bovine de Bouaké, de la Ferme semencière de Badikaha, du Ranch de Sipilu et du Centre d'alevinage de Dompleu dans les environs de Man. Selon le Ministère de la production animale et des ressources halieutiques (**MPARH**), la production du secteur baissera de 10 à 20% en 2003 et restera stagnante en 2004.

Il est recommandé comme mesures d'urgence, le lancement de campagnes de vaccination, surtout dans le Nord; la fourniture des produits vétérinaires et le rétablissement des services de santé

animale, y compris le réseau de surveillance des épizooties, dans les zones concernées; la reprise du commerce du maïs pour la production de provende en rétablissant la sécurité dans les zones de production. Soixante dix-sept éleveurs ont perdu 8 000 porcs et leurs étangs piscicoles ont été vidés. Les éleveurs du département de Danané ont subi le même sort. Dans les zones sous contrôle gouvernemental mais antérieurement envahies par la rébellion telles les sous-préfectures de Bin-Houyé et Zouen-Hounien, pratiquement tous les animaux d'élevage (bovins, petits ruminants, volailles et porcins) ont été tués et la pisciculture saccagée. Dans la localité de Tabou, la pêche est en déclin suite au départ des pêcheurs. D'autres personnes se livrent encore à la pêche, mais ils manquent d'une formation de base et d'équipement nécessaire (pirogues avec moteurs hors bord, filets et lignes améliorés). Les centres de recherche en production animale et des troupeaux expérimentaux de bovins et d'ovins améliorés ainsi les étangs pour la production des alevins ont été pillés. Les prévisions sont fondées sur les paramètres et hypothèses suivants:

- En 2004 la population atteindrait 17,8 millions d'habitants, si l'on retient les estimations du **FNUAP** d'une population de 16,69 millions en 2001 et un taux de croissance annuel de 2,14%. Mais on notera que quelque 500 000 travailleurs itinérants et d'autres étrangers ont quitté le pays en 2002 suite à la crise et que la plupart d'entre eux ne sont pas encore revenus. Ainsi la population est estimée à 17,3 millions d'habitants.
- Les estimations de la production alimentaire pour 2003, sur la base de riz usiné, sont de 1,1 millions de tonnes pour les céréales et environ 1,5 millions de tonnes pour les principales cultures non céréalières (racines et tubercules, plantain etc.) en équivalent céréales (les facteurs de conversion en équivalent céréales sont spécifiés dans la note 1 du tableau suivant (tableau 3). Mais comme indiqué dans les sections précédentes, les problèmes liés à la crise ont durement affecté la commercialisation des produits agricoles. Ainsi, le surplus commercialisable de beaucoup de zones de production n'est pas disponible pour les consommateurs dans les zones déficitaires.
- En début de saison 2003-2004, les stocks détenus par le secteur privé sont de l'ordre de 335 000 tonnes de céréales. Ces stocks comprennent 300 000 tonnes de riz, 15 000 tonnes de blé et 20 000 tonnes de mil. Il est admis que les agriculteurs et les commerçants avaient des stocks négligeables de maïs ou d'autres denrées en raison de la rébellion et de la crise politique qui s'est ensuivie.
- Selon les estimations de la FAO, sur la base d'une consommation apparente, les consommations annuelles par personne de céréales de base sont de 129 kg, dont 18 kg de blé, 75 kg de riz, 30 kg de maïs, 1,9 kg de sorgho et 4,2 kg de mil. Il n'y a cependant pas de données fiables sur la consommation de manioc, ignames et plantain. Se basant sur le bilan de **FAOSTAT** des

approvisionnement par personne, et tenant compte de possibles substitutions entre les différentes racines, tubercules et plantains, on estime la consommation moyenne au niveau national à 315 kg de matière fraîche (manioc 90 kg, ignames 150 kg et plantains 75 kg), soit l'équivalent de 84 kg de céréales. Ce niveau de consommation de manioc, igname et plantain combinés devrait fournir environ 30% des besoins journaliers caloriques (2595 kcal), en plus des 45% dérivant des céréales principales.

- L'utilisation des semences est basée sur la densité de semis recommandée et les superficies cultivées. D'autres usages comprennent l'alimentation du bétail et les pertes.
- Depuis la crise, il y a eu des exportations non enregistrées de maïs, de riz, de sorgho et d'autres produits alimentaires vers les pays voisins. Mais les niveaux des exportations sont tout de même beaucoup plus bas qu'avant la crise.
- Les stocks à la fin de la campagne de commercialisation 2003/04 sont estimés à 15 000 tonnes de blé et 300 000 tonnes de riz essentiellement importé. L'absence de récoltes à maints endroits et le fait que les agriculteurs étaient obligés de vendre leurs produits à des prix très bas pour faire face à des urgences, implique qu'ils ne conservaient guère de stocks.

Les besoins d'importation de céréales sont estimés à environ 1,4 millions de tonnes, comprenant 916 500 tonnes de riz, près de 316 000 tonnes de blé et 160 000 tonnes de céréales secondaires. Les importations de blé et de riz devront se situer parmi les niveaux atteints ces dernières années. Du total des besoins d'importation, on s'attend à ce que 1,207 millions de tonnes environ soient procurées commercialement, alors que quelque 184 400 tonnes proviendraient de l'assistance extérieure. Les promesses d'aide alimentaire actuellement connues s'élèvent à environ 50 000 tonnes de céréales (26 622 tonnes du **PAM** pour l'aide alimentaire d'urgence, le reste provenant du Japon et d'autres bailleurs de fonds). Le déficit restant - 134 400 tonnes - devra donc être comblé par le gouvernement et la communauté internationale sous forme d'importations alimentaires.

De manière générale, la situation alimentaire s'est améliorée ces derniers mois dans la plupart des zones affectées par la guerre, alors qu'elle est demeurée stable dans le reste du pays.

La situation nutritionnelle dans l'ensemble du pays s'est améliorée. Dans les localités accessibles aux organismes humanitaires et où des programmes d'alimentation supplémentaire et thérapeutique sont en place, la malnutrition est contenue et plus ou moins conforme aux taux de malnutrition structurelle qui existaient avant la crise. Plus récemment, une enquête **UNICEF/OMS** a révélé que la malnutrition aiguë avait fortement diminué dans l'Ouest, bien que la situation dans cette zone ait été jugée particulièrement inquiétante il y a seulement quelques mois.

Tableau 3: Bilan alimentaire 2004, en équivalent céréales (é.c.), en milliers de tonnes.

	Blé	Riz	Maïs	Sorgho	Mil	Total céréales	Total autres cultures	Autres principales cultures en é.c. ¹		
								Manioc	Ignames	Plantain
Disponibilités domestiques	15,0	808,5	523,0	23,6	74,7	1444,8	1498,4	504,3	695,2	290,8
Prél. sur stocks	15,0	300,0	0,0	0,0	20,0	335,0				
Prod. en 2003 incl. Riz usiné	0,00	408,5	523,0	23,6	54,7	1108,8	1498,4	504,3	695,2	290,8
Utilisations totales	331,1	1725,0	658,0	39,1	84,0	2837,2	1500,5	512,2	694,2	293,7
Cons. alimentaire	331,1	1297,5	518,5	32,9	72,7	2232,7	1500,5	512,6	694,2	293,7
Semences et autres	5,0	127,5	134,5	6,2	11,3	284,5				
Expositions	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	5,0				
Stocks fin saison	15,0	300,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
Besoin d'importation en 2004	316,1	916,5	135,0	15,5	9,3	1392,4	10,1	8,3	-1,0	3,0
Estimations des importations commerciales	300,0	900,0	2,0	5,0	0,0	1207,0				
Déficit à couvrir	16,1	15,4	133,0	10,1	9,9	184,4				

1/ En utilisant le facteur équivalent céréales (é.c.): 32% pour le manioc, 26% pour l'ignames et 22% pour les plantains (sur la base du contenu calorique dans les tables de la FAO).

L'arrivée des nouvelles récoltes et la stabilité relative ont quelque peu adouci la situation. De plus, nombre de personnes déplacée intérieurement (**PDI**) rentrent graduellement à leur place d'origine alors que d'autres, qui ont été hébergées pendant plusieurs mois dans les zones d'accueil, ont pu développer des stratégies de survie. Cependant, malgré ces améliorations, la situation alimentaire de beaucoup de ménages continue à être fragilisée par l'anéantissement des moyens d'existence. Les petits producteurs des cultures de rente en particulier sont en train de subir des pertes de revenus considérables.

Partout on observe, de la part des agriculteurs des plaintes du manque d'accès au marché pour les cultures de rente. Le manque de mobilité à l'intérieur et entre les zones sous contrôle gouvernemental constitue un handicap pour les agriculteurs. Des hommes d'affaires peu scrupuleux qui peuvent se permettre de payer les deux côtés de la ligne de division du pays, exploitent les agriculteurs qui ne peuvent guère voyager facilement. Les prix de vente du café et du cacao ont chuté à tel point que certains agriculteurs menacent d'en cesser simplement la production si les autorités gouvernementales n'interviennent pas rapidement en leur faveur. Et les tensions entre les autochtones et les travailleurs itinérants (allochtones, allogènes, étrangers) sont encore très vives

à certains endroits, ce qui entrave l'accès aux plantations et empêche la reprise des travaux agricoles.

En conséquence, des groupes spécifiques sont confrontés à un risque élevé d'insécurité alimentaire. Ce sont en particulier des personnes revenant à leur lieu d'origine le long de la frontière libérienne où de violents combats ont eu lieu au début de 2003, et qui font face à de sérieuses difficultés en essayant de rétablir une existence basée sur des activités agricoles. Ceux qui ont perdu leurs récoltes de 2002 pendant les affrontements signalent que les récoltes de la campagne 2003 ne sont pas prometteuses puisque les semis ont eu lieu trop tard à maints endroits. De fait, beaucoup de ceux qui sont revenus sont arrivés trop tard pour planter leurs cultures de base, le riz pluvial, et n'ont rien récolté en octobre. Bien que certains parmi eux aient bénéficié de la distribution des semences de riz irrigué (programme agricole d'urgence **FAO/PAM**) et aient probablement récolté en décembre-janvier, la situation de sécurité alimentaire pourra être critique au début de la prochaine campagne agricole (à partir de mai-juin). L'effondrement de l'économie des cultures de rente affecte aussi durement ces agriculteurs qui les produisent essentiellement. Les prix de cacao étaient extrêmement bas (aussi bas que 125F CFA/kg, c'est-à-dire le troisième des prix recommandés) comparé à la période avant la crise et aussi par rapport aux prix enregistrés dans d'autres localités. Ceci est dû aux problèmes d'accès tels que l'insécurité et le harcèlement aux barrages routiers de même qu'au nombre restreint de négociants qui opèrent dans la zone. Les prix du café et du cacao se sont effondrés pendant plus de deux années consécutives. Les revenus provenant des cultures de rentes servent généralement à faire face à la période de soudure, étant utilisés pour l'achat de nourriture quand les stocks propres des ménages sont épuisés. Dans les zones de clivage ethnique, l'on enregistre encore des disputes sporadiques mais suffisamment violentes et l'insécurité demeure une préoccupation qui empêche les agriculteurs de se rendre à leurs champs. Des poches de vulnérabilité subsistent un peu partout notamment dans les zones sous occupation de la rébellion. L'effondrement de l'économie des cultures de rentes affecte aussi durement les agriculteurs, donc l'insécurité alimentaire s'installe. La situation reste précaire dans la région Nord orientale; une des régions habituellement les plus pauvres du pays a été durement touchée par la crise, car les agriculteurs n'ont pas été en mesure de faire face à la baisse de la production et des ventes d'ignames seule principale source de revenu de cette région occupée elle aussi par la rébellion. Les habitudes de consommation ont dû changer à cause de la crise. Tant les quantités, les types que la qualité de la nourriture ont baissé. Dans certaines familles, on ne prend plus qu'un ou deux repas par jour. La nourriture ne contient plus de viande ou du poisson (source habituelle de protéines) dans la plupart des cas, et les repas sont composés d'aliments de basse qualité ou les moins préférés. Les campagnes se vident de leurs bras valides (les jeunes) pour aller chercher du travail en ville: c'est

l'accentuation du phénomène de l'exode rurale.

2.1.6. Problèmes liés à la situation alimentaire en Afrique de l'Ouest.

Depuis la fin de l'année 2003, la situation des disponibilités alimentaires est dans l'ensemble favorable parce que des récoltes supérieures à la moyenne ont été enregistrées dans les pays du sahel et des récoltes satisfaisantes dans la quasi totalité des autres pays de la sous-région. Les marchés sont bien approvisionnés et les cours des céréalières ont considérablement baissé. Toutefois en Côte d'Ivoire, en Guinée, au Libéria et en Sierra Leone, les personnes déplacées à l'intérieur de ces pays et les réfugiés continuent d'avoir besoin d'une aide alimentaire. La menace causée par les criquets pèlerins est particulièrement préoccupante, ceux-ci se trouvant déjà à un stade avancé de leur développement dans les zones septentrionales de plusieurs pays du sahel (**FAO/SMIAR, 2004¹¹ Rapport sur l'Afrique subsaharienne**, Avril 2004)

Les aspects nutritionnels étant liés à une suffisante disponibilité alimentaire, aux moyens financiers des foyers et leur capacité de production-(difficultés auxquelles les populations africaines sont quotidiennement confrontées)-, ainsi les problèmes nutritionnels persistent dans toute cette partie de l'Afrique. En effet la situation alimentaire connaît des difficultés liées aux conflits, à la sécheresse, aux pandémies (**SIDA** ou **AIDS**), aux mauvaises orientations des politiques agricoles, la démographie galopante et incontrôlée etc. qui vont dégrader la situation d'année en année et compromettre durablement l'état alimentaire et nutritionnel de toute cette partie du continent africain. La production alimentaire n'étant pas distribuée équitablement, ce sont les maillons faibles de la population constitués d'enfants, personnes âgées et femmes enceintes qui souffrent durement. En effet selon un rapport sur la situation nutritionnelle dans le monde publié en 2004 par la Commission Permanente sur la nutrition (***Nutrition for improved development outcomes*, New York, Nations Unies, 2004¹².**), l'Afrique est le seul continent qui risque de ne pas atteindre l'objectif du millénaire pour le développement (**OMD**) (**Nations Unies, Déclaration du Millénaire, New York, Nations Unies, 2000¹³**) qui consiste à réduire de moitié le niveau actuel de sous-nutrition chez les enfants de moins de 5 ans d'ici 2015, à moins que des efforts concertés et bien ciblés ne soient menés pour redresser la situation. Cette dégradation persistante de la situation nutritionnelle en Afrique subsaharienne est inacceptable et constitue un sujet de préoccupation pour tous les gouvernements même si les problèmes d'alimentation restent très souvent le parent pauvre des projets de développement de la plupart des Etats africains.

2.1.7 Effets des réformes sur les situations agricole et alimentaire de la Côte d'Ivoire.

Dans le contexte de déséquilibre commerciaux et financiers, d'endettement croissant, de stagnation,

voire de récession économique qu'a connu la Côte d'Ivoire, les programmes de stabilisation et d'ajustement structurel proposés par le Fonds Monétaire International et la Banque Mondiale ont eu pour objectif de corriger les déséquilibres afin d'assurer les bases d'une croissance stable et durable à moyen terme. Ces politiques d'ajustement structurel constituent le cadre macro-économique général commun à beaucoup de pays. Elles ont eu et continuent d'avoir des effets importants sur l'évaluation des situations des secteurs agricole et alimentaire et sur la situation nutritionnelle des populations. L'analyse de ces effets constitue un préalable à une réflexion en terme de sécurité alimentaire pour une raison principale.

-La sécurité alimentaire des pays dépend prioritairement des politiques macro-économiques mises en œuvre et le contexte dominant aujourd'hui est celui des effets de l'ajustement structurel. L'essentiel de l'ajustement structurel étant d'aider le pays à produire spécialement du café et du cacao à fin de parvenir à rembourser rapidement sa dette.

2.1.8. Conséquences et besoins d'assistance.

Les groupes vulnérables tels que les enfants gravement amaigris et des malades hospitalisés reçoivent de l'assistance du Programme Alimentaire Mondial (PAM) par le biais des **ONG** à vocation médicale. Le PAM fournit aussi de l'assistance type Vivres Contre Travail (**VCT**) à des travailleurs qui dispensent des services sociaux essentiels dans les régions sous occupation de la rébellion. En fin l'un des volets majeurs de l'aide actuelle est l'expansion des cantines scolaires particulièrement dans le Nord. Les cantines scolaires sont des restaurants construits dans des écoles pour donner à manger presque gratuitement aux élèves. L'assistance du PAM en 2004 s'est orientée davantage vers un appui destiné à reconstituer les moyens d'existence dans les zones les plus touchées, par opposition à la fourniture de l'aide humanitaire par la distribution des rations générales. Les Personnes Déplacées à l'Intérieur (**PDI**) et les réfugiés dans les camps où les abris temporaires continueront à être assistés avec des rations générales. De concert avec le Haut Commissariat pour les Réfugiés (**HCR**)- au total 16 000 réfugiés ont été identifiés comme pouvant bénéficier des rations générales- une augmentation de 13 000 par rapport aux prévisions.

2.1.8.1. Nombre de bénéficiaires et besoins alimentaires par type d'intervention.

Normalement, les enfants qui quittent un centre d'alimentation thérapeutique devraient être transférés à des Programmes d'Alimentation Supplémentaire (**PAS**); mais comme ces programmes n'existent pas à certains du pays, les enfants sont laissés avec une ration familiale. Ceux qui ont été déplacés suite aux affrontements armés ou par intimidation, la majorité desquels sont des femmes et des enfants reçoivent une ration complète de 2100kcal/jour (la ration familiale pour des familles de

cinq personnes). Ceux qui disposent d'autres moyens reçoivent une ration réduite de 1830kcal/jour. Les personnes déplacées revenant à leur place d'origine bénéficient généralement d'une assistance pendant quatre mois. À des fins de planification, et d'accord parties avec le **HCR**, le PAM a gardé au total 26 000 réfugiés dans des camps qui devraient recevoir une aide alimentaire. Mais au début de l'année 2004, les deux agences ont dû faire face à un influx de réfugiés du Liberia. Cette zone a connu des combats intenses et de pillages pendant la crise, et des familles entières sont restées cachées dans la forêt pendant plusieurs mois. L'assistance alimentaire vise quelque 7 000 réfugiés accueillis dans les villages, et les premières distributions ne vont couvrir leurs besoins que jusqu'à la fin du mois de février 2004. D'autres réfugiés du Liberia ont été installés pendant plusieurs années en dehors de leur pays (notamment en Côte d'Ivoire), et on s'attend à ce qu'ils ne reviennent pas, peu importe le niveau de sécurité. Les plans pour une élimination graduelle de l'assistance alimentaire à cette catégorie de réfugiés- dont beaucoup ont été intégrés aux communautés locales et ne recevaient pas d'aide alimentaire avant la crise ivoirienne- sont développés en 2004.

-Les enfants gravement ou légèrement mal nourris.

Quand les cas de malnutrition sont diagnostiqués par les partenaires (**ONG**) d'exécution du domaine médical ou de la nutrition, le PAM fournit des thérapeutiques et supplémentaires aux enfants et à leur famille (ou à l'adulte accompagnateur dans le cas de l'alimentation thérapeutique). Le PAM appuie les programmes du gouvernement et ceux gérés par les ONG dans les localités vulnérables dès que de tels programmes sont mis en place.

-Les élèves du primaire.

Dans les régions du Nord et de l'Ouest sous occupation de la rébellion, les cantines scolaires d'urgence encouragent la réouverture des écoles, rétablissant par là une certaine normalité et fournissant un minimum d'activités structurées pour le développement psychologique des enfants. Dans le Centre et le Sud, on assiste les systèmes scolaires dans les localités à forte concentration des populations déplacées. Au plan national, l'intervention bénéficie des structures de gestion déjà en place du programme des cantines scolaires de Côte d'Ivoire présentement interrompu. On œuvre aussi à maintenir les cantines scolaires jusqu'à ce que le rétablissement du projet devienne possible.

-Groupes vulnérables dans les institutions sociales.

Les personnes hospitalisées de façon permanente, les handicapés et les orphelins dans les institutions des zones sous occupation de la rébellion sont devenus complètement dépendants de l'assistance extérieure pour leurs besoins alimentaires. En outre, le PAM appuie l'alimentation dans les institutions sociales qui dispensent une aide psychopédagogique et de la formation professionnelle aux ex-enfants soldats et aux femmes et filles maltraitées ou exploitées pendant le conflit. Le PAM apporte aussi son appui aux institutions dispensant une formation de sensibilisation

au VIH/SIDA et à la fourniture des semences (**Rapport spécial. Mission FAO/PAM, 2004**¹⁴ **d'évaluation des récoltes et des disponibilités alimentaires en Côte d'Ivoire: mars 2004.** <http://www.fao.org/giews>).

2.2. Habitudes alimentaires en Côte d'Ivoire.

En Côte d'Ivoire les habitudes alimentaires sont généralement fonction des régions et des zones de production. En effet lorsque une région produit une quelconque denrée, celle-ci constitue principalement son aliment de premier choix.

Ainsi au Nord, les populations consomment des céréales sous forme de bouillie légère le matin; les midi et soir toujours de la bouillie de céréales mais accompagnée de sauce.

Au Centre du pays, l'alimentation est généralement constituée de féculent de tubercules préparés sous forme de bouillie le matin; les midi et soir sous forme de foutou accompagné de sauce. Foutou: c'est une pâte tendre et frais obtenue à partir de la bouillie de tubercules écrasée dans un mortier.

Au Sud on consomme généralement des tubercules sous forme de foutou, de faine et d'attiéké en ce qui concerne le tubercule de manioc (*Manihot esculenta crantz.*). Habituellement l'attiéké est pris le matin.

A l'Ouest, c'est de la céréale (riz) et du féculent qui constituent l'aliment principale de base. Les préparations à base de féculent peuvent être prises les matins comme les soirs indistinctement.

A l'Est, l'alimentation est constituée également de féculent de tubercules et de céréales notamment le riz. Les matins comme les soirs on consomme indifféremment du féculent, des tubercules et de la céréale.

Ces différentes habitudes alimentaires se remarquent principalement dans les zones rurales. Dans les grandes villes et agglomérations, grâce aux brassages des différentes populations, les habitudes alimentaires telles que décrites plus haut, tendent à se modifier. Une enquête conduite par **Amani et Kamenan (2003**¹⁵) respectant les différents procédés de transformation et de préparation les divers aliments amylicés typiques de la Côte d'Ivoire, a donné les résultats suivants:

Sur la base des réponses de l'enquête, il a été dénombré 37 plats traditionnels dont 18 mets à base de manioc, 12 mets à bases de banane plantain et 7 à base de d'igname. Ces aliments sont généralement désignés en langues nationales et sont répartis selon quatre mode de cuisson: la cuisson au four ou à la braise, la cuisson à l'eau et la cuisson à la vapeur. Les plats les plus couramment consommés sont:

- le foutou: le foutou est une pâte à texture collante qui s'obtient après épluchage et découpage des tubercules en morceaux. Ceux-ci subissent alors une cuisson dans l'eau bouillante jusqu'à leur ramollissement, puis ils sont pilés à chaud dans un mortier après égouttage. Le foutou se prépare

avec le manioc doux, la banane plantain, l'association manioc/banane plantain ou les ignames de l'espèce *Dioscorea cayenensis-rotundata*. Après cuisson les tubercules ou fruit en morceaux assaisonnés de condiments, ces morceaux sont égouttés puis écrasés et mélangés avec de l'huile de palme. Il se mange associé avec une sauce riche en légumes et donc des protéines;

-le n'gbo ou bouillie: le n'gbo est aussi appelé bouillie de plantain, d'igname ou de manioc. Les tubercules sont épluchés, découpés en morceaux et cuits jusqu'à ébullition dans de l'eau salée, puis égouttés. Les matières premières utilisées sont le manioc doux, la banane plantain mûre ou verte et les ignames de l'espèce *Dioscorea alata*;

-l'akpessi ou ragoût: l'akpessi se prépare avec le manioc doux, la banane plantain verte ou mûre et les ignames de l'espèce *Dioscorea alata*. Les tubercules sont épluchés, découpés en morceaux puis assaisonnés. Le mélange est cuit à point à l'eau bouillante et se consomme à chaud sans égouttage;

-l'allouboué ou purée: l'allouboué est une spécialité culinaire authentique en Côte d'Ivoire et spécifique aux ignames, de préférence l'espèce *Dioscorea alata*. Il est obtenu après cuisson à point en excès d'eau en mélange avec des légumes et du poisson. Les tubercules coupés en morceaux sont bouillis et écrasés dans leur eau de cuisson en purée;

-l'alloco ou friture de banane mûre: le procédé consiste à éplucher les bananes puis à les découper soit en cubes, soit en tranches. Ces cubes ou tranches sont frites dans l'huile végétale chaude, puis égouttés, déshuilés et servis à chaud;

-l'attiéké ou couscous de manioc aigre: ce plat est spécifique au manioc de variété amère. Le procédé consiste à éplucher le manioc, à le découper, puis à le broyer. La pâte obtenue après broyage est mélangée avec un ferment naturel et laissée reposer pendant une nuit puis essorée. Après granulation, le produit est séché au soleil pendant deux à trois heures puis défibré. Les semoules obtenues sont enfin cuites à la vapeur;

-le placali: comme l'attiéké, le placali est aussi spécifique au manioc de la variété amère. Après l'étape de la fermentation, la pâte est essorée et tamisée pour éliminer les fibres et autres particules solides. Sous agitation et à l'aide d'une spatule, le filtrat est cuit à l'eau à feu doux, dans une marmite jusqu'à obtention d'une masse alimentaire épaisse et translucide. Le placali se mange généralement accompagné de sauce feuille riche en protéines.

Les résultats de l'enquête montrent au regard des réponses déclarées, qu'au niveau des espèces, la préférence des Abidjanais va dans l'ordre décroissant suivant: la banane mûre (48%), la variété d'igname krenglè (*Dioscorea cayenensis-rotundata*) (34%) et le manioc (18%).

Au petit déjeuner, la population abidjanaise déclare préférer le couscous de manioc aigre attiéké, la bouillie d'igname ou n'gbo et la pâte gélatinisé de manioc aigre ou placali (30%, 24% et 9% respectivement). Les 34 autres mets se partagent les 37% restants. Au déjeuner, sont préférées les

pâtes pilées de féculents ou foutou. Dans l'ordre décroissant, 44% pour le foutou de banane plantain, 21% pour le foutou d'igname et 12% pour l'attiéké: Au goûter, la friture de banane mûre ou alloco est préférée par 72% des personnes enquêtées, suivi de la bouillie d'igname ou n'gbo et les frites d'igname (9% et 6% respectivement). Au dîner le foutou de banane vient encore en première position des préférences déclarées de la population d'Abidjan, suivi du ragoût d'igname ou akpessi et de l'attiéké ou couscous de manioc (29%, 17% et 15% respectivement). En terme de valeur nutritionnelle, la composition en nutriment, exprimée en base de matière sèche (MS), de ces denrées essentiellement amylacées, est ainsi résumée. Les glucides digestibles de l'igname, du manioc et de la banane plantain sont constitués principalement d'amidon et des oses simples. Les teneurs en amidon pour les différentes espèces d'igname sont comprises entre 72,1 et 77,5g/100g de MS pour *Dioscorea alata*, de 70,9g et 76,5g/100g de MS pour *Dioscorea cayenensis-rotundata*. La banane plantain a la teneur en amidon la plus élevée (83,3g/100g de MS). La teneur chute brutalement après 14 jours de conservation à 64,6g pour 100g de MS au profit des sucres totaux (20,1%) contre seulement 0,4% de sucres totaux dans la banane verte. Parmi les ignames, les variétés les plus riches en sucres totaux proviennent du complexe d'espèces *Dioscorea cayenensis-rotundata* avec 7,2% pour la variété kponan et 5,9% pour la variété krenglè. Concernant les teneurs en protéines, les différences interspécifiques sont importantes. Elles varient de 4,4% chez la banane plantain verte et le manioc à 9,6% chez la variété florido (*Dioscorea alata*). Par contre le manioc et la banane plantain verte d'un jour après la récolte, possèdent le potentiel énergétique le plus élevé avec 394kcal/100g (Amani et Kamenan, 2003¹⁵).

2.2.1. Plantes alimentaires cultivées spontanées communément utilisées en Côte d'Ivoire.

Akpi (appellation locale) (*Ricinodendron heudelotii*)

Le *Ricinodendron heudelotii*, produit saisonnier largement répandu dans la zone forestière africaine est beaucoup consommé en période de disponibilité. Le nom local varie énormément d'un pays à un autre et même d'une région à une autre dans le même pays.

Le nom local au Centre, Centre-Est et au Sud-Est de la Côte d'Ivoire est Akpi. La plante, de la famille des *Euphorbiaceae* est un gros arbre de plus de 30m de hauteur qui pousse de la Guinée (Afrique occidentale) à l'Afrique orientale et en Angola (Vivien et Faure, 1985¹⁶; Tshiamala-Tshibangu et Ndjigba, 1999¹⁷). L'arbre est utilisé comme médicament (Keumedjio, 1990¹⁸; Kimbu et al., 1991¹⁹) et pousse également au Congo, au Gabon et Madagascar (Pieraerts, 1917²⁰). Les fruits de la plante renferment une graine à coque dure dont les amandes, avec une teneur en huile de 45 à 65% de la matière sèche, sont utilisées comme épice épaississant des sauces (Tchiégang et al., 1997²¹; Mosso et al., 1998⁴). La teneur élevée en huile fait de ces amandes une

matière première potentielle pour la petite huilerie africaine (**Tchiégang et al., 1997²¹**). L'huile des amandes de la plante contient l'acide gras polyinsaturé α -linoléique (C 18: 3 conjugué) présent à plus de 50% des acides gras totaux (**Kapseu et Tchiégang, 1995²²**; **Tchiégang et al., 1997²¹**). Cette huile favorise la synthèse du cholestérol **HDL** chez le rat de laboratoire; la consommation de l'huile brute entraîne une augmentation du cholestérol HDL en abaissant celui de **LDL** contrairement à l'huile de palme. Cette propriété est due à ses activités hypocholestérolémiantes et hypotriglycéridémiantes et faisant de l'huile du *R. heudelotii* un aliment capital pour la lutte contre les maladies cardiovasculaires et l'athérosclérose. Des études de **Keumedjio (1990)¹⁸** et **Kimbu et al. (1991)¹⁹** ont aussi montré les propriétés médicinales de l'écorce de l'arbre. La partie comestible est l'amande, enlevée de la coque, est d'abord séchée au soleil puis grillée à feu doux pour exalter les arômes et enfin écrasée pour en faire une pâte qu'on ajoute aux autres ingrédients au cours de la préparation des sauces.

Pois de terre (*Vigna subterranea*)

Le pois de terre [*Vigna subterranea* (L.) verdc] de la famille des *Fabaceae* (**Mabderley, 1987²³**) est l'une des premières plantes cultivées d'Afrique et elle est probablement de l'Afrique de l'Ouest (**Kay, 1979²⁴**). La plante est haute de 30cm, rampante et a une vie relativement éphémère de trois à quatre mois. L'automne est la période propice de production. C'est un fertilisant pour d'autres cultures; en effet elle fixe l'azote au sol (**FAO, 1964²⁵**). Les fruits se forment sous terre comme les arachides. Les gousses sont dures et fermes et sont plissées lorsqu'elles sont séchées et chaque gousse contient un ou deux grains. La couleur des grains varie du noir au blanc et quelquefois les grains sont tachetés de plusieurs couleurs (**Oyenuga, 1968²⁶**). La plante est largement cultivée en Afrique centrale et de l'Ouest. Plusieurs études ont démontré que ce légume, beaucoup consommé en Afrique, est une véritable source de divers nutriments; particulièrement les protéines et les sels minéraux, et est aussi une excellente source du complexe d'hydrates de carbone (**Moose et Baudet, 1983²⁷**; **Oshodi et al., 1993²⁸**; **Oshodi et al., 1995²⁹**).

Le pois de terre ou bambara groundnut (*Vigna subterranea*, ou *Voandzeia subterranea*), plante de période de soudure par excellence, pousse sans difficulté majeure en zone de pluies abondantes comme en zone de faible pluviométrie. Riche en protéine, la *Vigna subterranea* constitue un excellent apport alimentaire et nutritionnel pour les enfants grâce à son contenu en hydrates de carbone. Selon les espèces de cette légumineuse le contenu en tannins varie de 0,37 à 0,39% (**Apata and Ologhobo, 1997³⁰**) mais malheureusement avec les différents types de cuissons (grillades, bouillies, au four, étuvage etc.), le taux de tannins diminue considérablement (**Champ, 2002³¹**; **Nwokolo, 1997³²**). La *Vigna subterranea* contient également des composés tels que cyanidine,

malvidine, delphinidine et glycosides (**Mazza et Miniati, 1996**⁶). Néanmoins le contenu toxique, les facteurs anti-nutritionnels tels que protéase inhibiteurs, héamagglutinins et les phytates sont partiellement ou complètement détruits par les différentes méthodes de préparation (**Swaminathan, 1974**³³; **Oboh et Akindahunsi, 2003**³⁴; **Tharanathan et Mahadevamma, 2003**³⁵; **Oboh et Rocha, 2006**^{36a}). Trois principales couleurs caractérisent les grains de la plante: rouge, noir et blanc. Il semble que les gains rouges et noirs soient les plus riches en minéraux par rapport aux grains pâles et blancs utilisés pour cette étude. La tendance de préférence des populations est orientée vers la consommation des grains de couleur claire probablement grâce à son temps de cuisson relativement court, au goût et aux arômes plus prononcés.

En Namibie la plante, bon fixateur d'azote dans le sol (**Sesay et al. 1996**³⁷; **Azam-Ali, 1992**³⁸), joue un rôle crucial en tant qu'aliment pour supplémer d'autres aliments en protéines pour les populations rurales (**Wolbling, 1998**³⁹). L'importance de la *Vigna subterranea* au plant nutritionnel par sa richesse en protéines avec plus de 32% acides aminés essentiels tels que la lysine et la leucine en prédominance (**Jirapa et al., 2001**⁴⁰; **Minka et Bruneteau, 2000**⁴¹). Malheureusement le contenu en hydrates de carbone indigestes tels que raffinose, stachyose et verbascose provoquent la flatuosité et la diarrhée chez les adultes et surtout chez les enfants (**Onyenekwe et al., 2000**⁴²; **Besançon, 1999**⁴³) néanmoins la cuisson dans l'eau bouillante élimine jusqu'à 50% les effets nocifs du stachyose et raffinose (**Onyenekwe et al., 2000**⁴²).

Gnagnan (appellation locale) (*Solanum indicum* L.)

Solanum indicum de la famille des *Solanaceae*, fait partie des plantes alimentaires spontanées en Côte d'Ivoire (**N'dri et al., 2008**⁸). Il entre dans plusieurs préparations à base de sauces. De manière générale, les fruits sont cueillis indifféremment, qu'ils soient verts, jaunes ou rouges. Le pédoncule séparé de la partie comestible, les fruits sont lavés et cuits dans de l'eau bouillante légèrement salée. Une fois cuits, ils sont retirés et écrasés dans un petit mortier à l'aide d'une louche. La pâte ainsi obtenue est remise dans l'eau de cuisson avec les autres ingrédients qui constituent la sauce. On les laisse cuir pendant 30 à 45 mn et la sauce est prête à accompagner les préparations de céréales et de tubercules etc.. La plante est un petit arbuste d'un mètre à un mètre et demi de hauteur qui pousse sans condition particulière de pluviométrie en zones arides comme en zones d'abondantes pluies. Les fruits de formes ovoïdales sont la principale partie comestible; ils assument trois diverses colorations au cours de leur maturation: ils sont verts au départ, deviennent jaunes puis orange foncé à la fin de la maturation. Des feuilles aux racines en passant par l'écorce et les fruits entrent également dans la préparation de certains produits médicamenteux traditionnels. Le *S. indicum* est riche en substances vitaminiques telles que vitamine C, substances phénoliques et antioxydants (**Aberoumand et Deokule, 2008**⁴⁴). En Côte d'Ivoire en général et au centre du pays en particulier

où la plante est beaucoup consommée, on raconte traditionnellement que celui qui en consomme régulièrement ne souffre pas de maux tels que: maux de tête, de dents et ventre, diarrhée, des vomissements et mêmes des perturbations de la prostate. En Asie et particulièrement en Chine, le *S. indicum* est beaucoup utilisé en médecine traditionnelle pour lutter contre les inflammations, blessures, allergies, toux, et cancers du sein; en Thaïlande, il est utilisé comme substance cicatrisante (**Mons et al., 2009⁴⁵**), en Inde et en Iran, il est quotidiennement employé en médecine traditionnelle comme moderne et en alimentation (**Aberoumand et Deokule, 2009⁴⁶**).

Sorgho (*Sorghum bicolor*)

Le sorgho est une céréale de la famille des *Poaceae*.

Constitué de trois principales espèces cultivées et consommées (blanc, rouge et noir) le sorgho se présente comme la cinquième céréale la plus cultivée au monde après le blé, le riz, le maïs et l'orge (**Awika et Rooney, 2004⁴⁷**). Les Etats Unis d'Amérique constituent les plus grands producteurs avec 80% de la production mondiale pour les années 2001 et 2002 (**USDA-FAS, 2003⁴⁸**). De toute la production mondiale (58 millions de tonnes) seulement les 35% sont destinés à l'alimentation humaine, le reste étant utilisé comme aliment de bétail et produits industriels (**Awika et Rooney, 2004⁴⁷**). Le grain du sorgho est riche en glucides, lipides et protides, elle contient aussi des fibres, des minéraux (potassium et phosphore) et des vitamines (sauf la vitamine A). De plus, le sorgho est également riche en composés phénoliques et tanins (**Awika et Rooney, 2004⁴⁷**). En Côte d'Ivoire, le sorgho est principalement cultivé en zone de savane et a une importance économique et alimentaire limitée à quelques départements. Il est cultivé en association avec le mil et le maïs (**Ministère de l'Agriculture et des Ressources Animales de Côte d'Ivoire (MINAGRA), 1998⁴⁹**). Aux Etats Unis d'Amérique, les produits du sorgho blanc sont utilisés à petite échelle pour substituer les produits du blé pour des personnes allergiques au gluten du blé (**Fenster, 2003⁵⁰**). Le contenu en éléments nutritifs des fractions de grains de sorgho et mil est connu. Le son de sorgho est faible en protéines et cendre mais riche en fibres. La fraction germe du sorgho est riche en cendres, protéines et huile, mais très pauvre en amidon. Plus de 68% de la matière minérale totale et 75% de l'huile du grain complet se situent dans la fraction germe, dont la contribution à la teneur en protéines du grain n'est que de 15%. Le germe du sorgho est également riche en vitamines du complexe B. L'endosperme, partie la plus importante du grain est relativement pauvre en matières minérales, cendre et huile. Il contient en revanche 80% de protéines du grain entier, 94% de l'amidon et substances organiques, 75% de vitamines du complexe B (**FAO, 1964²⁵**). Le sorgho est utilisé dans les préparations d'aliments de sevrage dans des pays comme Ethiopie, Tanzanie et Ouganda (**Seenapa, 1988⁵¹**). Au Nigeria, le sorgho est utilisé pour produire de la boisson fermentée

(**Obilana, 1985**⁵²). Le Nigeria et le Soudan sont les plus grands producteurs du sorgho en Afrique avec 63% du total de la production africaine. Les grains du sorgho peuvent se consommer comme du riz en les faisant bouillir dans de l'eau salée, ou bien les transformer en farine par broyage et faire des beignets, bouillies, biscuits etc. Riche en glucides, la graine du sorgho est utilisée en agroalimentaire pour fabriquer du sucre et différents alcools, c'est notamment le cas en Chine avec le maotai considéré comme le meilleur alcool du pays (**GNIS, 2008**⁵³). Néanmoins la jeune plante et les grains non mûres du sorgho contiennent de l'acide cyanhydrique qui est très toxique.

Mil (*Pennisetum glaucum L.*)

C'est une céréale de la famille des *Poaceae* et constitue la base de l'alimentation quotidienne des 50 millions d'habitants du sahel. Extrêmement résistant à la sécheresse et bien adapté aux sols pauvres, il reste la seule culture correspondant véritablement aux conditions du milieu et aux habitudes alimentaires traditionnelles des populations de cette zone. Comme le sorgho, le mil aussi est utilisé dans la préparation d'aliments de sévrage en Ethiopie, Tanzanie et Ouganda (**Seenapa, 1988**⁵¹).

Le son du mil est également faible en matières minérales, comme celui du sorgho, mais il est remarquablement riche en protéines avec un taux de 17,1%. Dans le mil, la fraction germe est relativement importante: 16% contre 10% dans le sorgho. Elle est également riche en huile (32%), protéines (19%) et cendres (10,4%). Pratiquement toute l'huile (87%) du grain complet se situe dans la fraction germe qui représente également plus de 72% du total de la matière minérale. La concentration des sels minéraux, plus forte dans le germe et le son que dans l'endosperme est caractéristique des grains de céréales (**Mac Master et al., 1971**⁵⁴). La teneur totale en matière grasse du mil est relativement plus élevée que dans les autres espèces et le sorgho, en raison de la dimension du germe, de sa forte teneur en huile et des niveaux relativement plus élevés de matière grasse dans la fraction son. En Côte d'Ivoire; comme le sorgho, le mil aussi est essentiellement cultivé dans la zone de savane et a une importance économique et alimentaire limitée à quelques départements. Il est cultivé en association avec le sorgho et le maïs (**Minagra, 1998**⁴⁹).

Fonio (*Digitaria exilis*)

De la famille des *Poaceae*, le fonio est une céréale très appréciée dans toute l'Afrique de l'Ouest. L'aire de culture du fonio s'étend du Sénégal au lac tchad, mais c'est surtout en Guinée, dans les régions montagneuses du fouta djalon en Afrique de l'Ouest, qu'il constitue l'une des bases de l'alimentation des populations. On le rencontre également au Mali, Burkina Faso, Côte d'Ivoire et au Nigeria. Le fonio a longtemps été considéré comme une céréale mineurs ou céréale des pauvres, mais connaît aujourd'hui un regain d'intérêt en zones urbaines en raison des qualités gustatives et

nutritionnelles que lui reconnaissent les consommateurs. En effet le fonio est globalement plus pauvre en protéines que les autres mais il est réputé pour ses fortes teneurs en acides aminés essentiels tels que méthionine et cystine. En Afrique, il est traditionnellement recommandé aux diabétiques, aux personnes souffrant de surpoids et aux femmes enceintes (**CIRAD, 2004**⁵⁵). Les plats à base de fonio sont particulièrement appréciés pour des cérémonies de réjouissance (mariages, baptêmes, anniversaires etc.). En Côte d'Ivoire, le fonio constitue avec le mil et le sorgho, un groupe de céréales qui se cultivent uniquement dans les zones de savanes du Nord du pays. Si le mil et le sorgho se cultivent un peu partout dans cette partie du pays, il n'en est pas de même pour le fonio dont la culture est confinée dans les régions du Nord-Ouest (Touba, Odienné et Tengrela) (**Attiey et Leblanc, 1979**⁵⁶). La production au plan national est de 7 200 tonnes pour une superficie emblavée de 11 200 ha soit un rendement moyen de 640kg/ha (**AISA, 1991**⁵⁷). Le fonio est presque exclusivement produit pour la consommation humaine. Traditionnellement, il est consommé sous forme de couscous ou «Fesro» qui consiste à cuire à l'eau ou à l'huile les grains préalablement décortiqués et lavés (**Aboua et al., 1989**⁵⁸). Il est aussi consommé sous forme de «Tô» accompagné d'une sauce feuille gluante ou non. Le fonio est une denrée rare sur les marchés même dans les zones de production. Du fait de sa faible disponibilité, la demande reste très forte par rapport à l'offre, entraînant du coup une hausse substantielle des prix de vente. Sur les marchés des zones de production le prix du kilogramme de fonio varie du simple en période de forte offre au double lorsque l'offre devient faible.

2.3. Situation nutritionnelle actuelle en Afrique subsaharienne et en Côte d'Ivoire.

En Afrique subsaharienne les systèmes de santé peinent à faire face à un excès de morbidité et de mortalité encore largement dû aux maladies infectieuses et parasitaires, aux conséquences diverses de carences nutritionnelles, aux complications de la grossesse et de l'accouchement. Ainsi, comme le souligne Mensah (**Mensah, 2003**⁵⁹), la prévention des maladies chroniques liées à l'alimentation est rarement sur l'agenda de la santé publique. Pourtant, ces maladies ne cessent de croître dans cette région également, posant un sérieux problème à des systèmes de santé déjà surchargés (**Unwin et al., 2001**⁶⁰). Si les évolutions spectaculaires de l'Île Maurice (**Hodge et al., 1996**⁶¹) ou de l'Afrique du Sud (**Puoane et al., 2002**⁶²; **Vorster, 2002**⁶³) restent encore une exception sur le continent, la mortalité correspondant aux maladies cérébrovasculaires, à âge égal, est proportionnellement plus élevée au sud du Sahara que dans les pays industrialisés (**Walker et al., 2000**⁶⁴). Et de fait, les facteurs de risque correspondants progressent dans nombre de centres urbains, au Nigeria, au Ghana, au Sénégal, en Gambie, en Tanzanie, ou encore au Cameroun (**Ekpo**

et al., 1992⁶⁵; Sbondwi et al., 2002⁶⁶). À Yaoundé (capitale politique du Cameroun) par exemple, 1 femme sur 2 et 1 homme sur 3 seraient actuellement en surcharge pondérale (**Pasquet et al., 2003⁶⁷**).

Avec l'amélioration des revenus et l'urbanisation croissante, les régimes riches en sucres complexes et fibres font place progressivement, même si les céréales occupent encore une place importante, à des régimes énergétiquement denses, riches en lipides et sucres simples, naturellement recherchés car plus agréables au goût. Les surplus des produits subventionnés riches en matière grasse (lipides) fabriqués dans les industries du nord, arrivent sur les marchés du sud à des prix qui battent toute concurrence, ou simplement sous forme d'aide alimentaire. Une demande s'installe et évolue ensuite, d'une manière générale vers une "occidentalisation" de l'alimentation. Les changements néfastes dans les régimes alimentaires associés à la transition actuelle sont l'augmentation des lipides (graisses saturées surtout, et les lipides partiellement hydrogénés) et des sucres d'absorption rapide, le sucre ajouté (boissons sucrées comprises), le sel en excès, et la diminution fréquente de la part des fruits et légumes, qui ne font guère l'objet de subventions ni de promotions, d'où une diminution de l'apport en fibres et micronutriments.

Plus les sociétés s'éloignent des régimes alimentaires traditionnels, pour se rapprocher des régimes dits "occidentaux" (par référence à l'évolution déjà ancienne des pays industrialisés vers une alimentation riche en produits transformés, davantage orientée vers une alimentation dite "rapide"), plus le phénomène de transition nutritionnelle et sanitaire sera marqué par l'apparition de surpoids et d'obésité, d'hypertension, de diabète, d'hypercholestérolémie, et par une augmentation de la mortalité par maladies cardiovasculaires (cardiopathies ischémiques, accidents vasculaires cérébraux), et par certains cancers (sein et côlon notamment).

De l'autre côté, depuis le sommet mondial sur l'enfance en 1990, la situation nutritionnelle du couple mère/enfant est restée préoccupante surtout en Afrique subsaharienne (**Lettres à la rédaction / Archives de pédiatrie, 2003⁶⁸**).

Au cours des années 1980, de nombreux pays de l'Afrique subsaharienne ont fait des progrès continus dans leurs efforts en vue de réduire la malnutrition protéino-énergétique. Selon le Comité Permanent des Nations Unies sur la Nutrition (2004) ces progrès étaient essentiellement dus à la stratégie des soins de santé primaires (SSP) et à des programmes de nutrition communautaires à grande échelle. Ces progrès sont intervenus malgré l'absence de croissance économique. Mais la situation a commencé à se dégrader dès le début des années 1990, à cause de facteurs tels que la récession économique; la réduction des investissements que celle-ci a entraîné dans le secteur de la santé; les sécheresses, les guerres et les troubles civils récurrents qui ont provoqué le déplacement de nombreuses communautés; et la pandémie de VIH/SIDA (**OMS Bureau Régional de l'Afrique**

54^e session Brazzaville, Congo, 2004⁶⁹).

Les principaux problèmes nutritionnels que l'Afrique subsaharienne rencontre sont donc la malnutrition protéino-énergétique et les carences en micronutriments (**OMS/AFRO, Bureau régional de l'OMS pour l'Afrique, 2001⁷⁰**). Les carences en vitamines A, en iode et en fer se rencontrent surtout chez les enfants de moins de 5 ans, ceux de 6 à 9 ans et chez les femmes en âge de procréer. Il ressort de diverses enquêtes démographiques et de santé (1988-1999) que 11% à 52% des enfants souffrent d'un petit poids à la naissance en Afrique subsaharienne. Les mêmes enquêtes laissent apparaître que 30% à 40% des enfants souffrent d'un retard de croissance dû à une malnutrition chronique et 10% d'émaciation ou de maigreur dû à une malnutrition aiguë et que 50% des enfants de moins de 5 ans et 60% des femmes enceintes souffrent d'anémie par carence de fer, 10% à 40% des adolescents d'une carence en iode donc exposés au goitre et 25% des enfants de moins de 5 ans d'une carence en vitamine A. Parmi les adultes, 4,5% à 40,6% des femmes en âge de procréer souffrent d'un déficit pondéral, et les taux de malnutrition les plus élevés se rencontrent chez les personnes déplacées y compris les réfugiés. De multiples causes sont à l'origine des problèmes nutritionnels. Les causes immédiates sont les maladies et une consommation alimentaire inadéquate. Les causes sous-jacentes au niveau des ménages et des familles sont l'insuffisance des produits alimentaires; l'inadéquation des services de santé, l'approvisionnement en eau et de l'assainissement, et de mauvaises pratiques en matière de soins maternels et infantiles. Les causes fondamentales sont essentiellement les mauvaises conditions socio-économiques et politiques et la pénurie des ressources. En ce qui concerne les troubles liés à l'alimentation, la sous-nutrition du jeune enfant l'expose au risque d'obésité à l'âge adulte, surtout lorsqu'elle est associée à des changements de mode de vie tels que forte consommation de sucres et de matières grasses et une réduction de l'activité physique. La détérioration de la situation nutritionnelle en Afrique subsaharienne s'explique en outre par le faible niveau de priorité accordé aux interventions portant sur la nutrition, comme en témoignent les maigres ressources budgétaires et les capacités techniques inadéquates des programmes de nutrition. L'absence de politiques nationales de nutrition et de mécanismes institutionnels capables de faciliter la plantation et la mise en œuvre multisectorielles des programmes en collaboration avec des secteurs tels que la santé, l'agriculture, et l'éducation affecte également des interventions. Les systèmes destinés au suivi régulier et à l'évaluation des tendances et des activités nutritionnelles, de même que la recherche appliquée en vue d'orienter la politique et la mise en œuvre des programmes restent inadéquats. Les conséquences de ce lourd fardeau de désordres nutritionnels dans cette partie de l'Afrique sont trop graves pour être ignorées. Lorsqu'elle intervient dans la tendre enfance, la malnutrition peut avoir des effets irréversibles et toucher plusieurs générations. Elle commence dès la vie intra-utérine et peut affecter toutes les

étapes critiques du cycle de la vie si elle n'est pas maîtrisée à temps. Elle contribue aux maladies de l'enfance et a des conséquences sur la santé de l'adulte, y compris un accroissement du risque des maladies chroniques liées à l'alimentation. Environ 50% des décès d'enfants de moins de 5 ans sont imputables à une malnutrition légère ou modérée. La malnutrition affaiblit également le système immunitaire, en même temps qu'elle réduit la capacité de résistance aux chocs et les aptitudes physiques et mentales. La malnutrition mine le capital humain. Selon la commission Permanente des Nations Unies sur la Nutrition, les pertes dues à la sous-nutrition peuvent atteindre 3% du produit intérieur brut. Elle influe sur la fréquentation et les résultats scolaires ainsi que sur l'ensemble des salaires gagnés toute la vie. Les maladies chroniques liées à l'alimentation imposent également des coûts énormes au secteur de la santé car elles consomment des ressources et provoquent le décès de membres productifs de la société. L'Afrique ne peut pas se permettre de telles pertes de son capital humain.

En particulier, la Côte d'Ivoire souffre de quatre problèmes nutritionnels majeurs qui sont: la malnutrition protéino-énergétique, les anémies nutritionnelles, les troubles liés à la carence en iode et ceux liés à la carence en vitamine A.

- La malnutrition protéino-énergétique (**MPE**) (**Azoulay et Dillon 1993**⁷¹)

Le terme de “malnutrition protéino-énergétique” se rapporte à un apport alimentaire insuffisant ou à une mauvaise absorption/utilisation de nutriments, faisant que les besoins de l'organisme ne sont pas satisfaits. La malnutrition peut être aiguë ou chronique. Elle se manifeste chez l'enfant par une perte de poids et par un retard de croissance. Les causes immédiates de la MPE, qui coexistent le plus souvent, incluent un mauvais apport alimentaire et des infections. Les nourrissons et les jeunes enfants sont les plus gravement touchés par la MPE. Les adultes, notamment les femmes en âge de procréer, les enfants d'âge scolaire, les personnes âgées et même certains hommes adultes peuvent également en souffrir. Toutefois la prévalence la plus élevée de malnutrition grave apparaît généralement chez les enfants âgés de 6 à 30 mois. Cette tranche d'âge peut être considérée comme le groupe indicateur le plus sensible de l'ensemble du statut nutritionnel d'une population. La cause principale réside dans l'insuffisance d'apport énergétique. En effet un apport alimentaire insuffisant s'accompagne souvent d'une disponibilité insuffisante en protéines et en autres nutriments essentiels, notamment en vitamines et en minéraux. Chez l'adulte, des apports insuffisants en énergie minent l'organisme et le rendent plus vulnérable aux maladies. Ils entraînent secondairement une baisse de capacités physiques (d'où une productivité du travail agricole faible). Chez le nourrisson et l'enfant en croissance, les faibles apports énergétiques associés au déficit en protéines entraînent une croissance physique insuffisante et un retard du développement mental, de

même qu'une moindre résistance aux infections. Des études nutritionnelles conduites dans de nombreuses régions d'Afrique donc en Côte d'Ivoire révèlent que la MPE et les autres formes de malnutrition sont courantes. En 1988, l'OMS estimait que près de 3 millions d'enfants âgés de 1 à 4 ans souffraient de formes aiguës de MPE (telles que le kwashiorkor et le marasme) et que la malnutrition avait contribué dans une large mesure à provoquer la mort de près de 3 autres millions d'enfants cette année-là. La Banque mondiale estime que, durant cette période, le nombre total de personnes souffrant de malnutrition s'élevait à 104 millions. Les taux de mortalité néonatale et infantile sont très élevés dans certains pays, la malnutrition contribuant à près de 50% des cas de décès d'enfants de moins de 5 ans. L'incidence et la gravité de la malnutrition sont renforcées par diverses maladies infectieuses endémiques et parasitaires, telles que les maladies diarrhéiques, la rougeole, les maladies de l'appareil respiratoire, la malaria ou paludisme et les infections parasitaires. Ainsi les épidémies de rougeole peuvent provoquer des taux de mortalité atteignant 50% chez les populations souffrant de malnutrition. Sur le continent africain, la prévalence moyenne d'émaciation (squelettique) ou de malnutrition aiguë (mesurée en poids pour la taille insuffisante) est de 5%, alors que celle du retard de croissance ou de malnutrition chronique (mesurée par la taille par rapport à l'âge) atteint environ 40% des enfants. Les données montrent que l'émaciation se rencontre plus fréquemment dans les pays d'Afrique occidentale, d'Afrique de l'Est et d'Afrique australe qui sont plus gravement touchés par la sécheresse, la guerre ou la dégradation de la situation économique. Le retard de croissance de l'enfant prévaut davantage dans les régions forestières d'Afrique centrale et d'Afrique de l'Ouest. On rencontre également souvent de cas de malnutrition et de famine chez l'adulte, de manière saisonnière, dans les mêmes régions. La malnutrition des femmes enceintes se répercute sous forme d'une prévalence élevée de poids de naissance insuffisants.

Selon les données disponibles en Côte d'Ivoire, les problèmes nutritionnels de la population ivoirienne sont dominés par la malnutrition protéino-énergétiques (MPE) (**Azoulay et Dillon, 1993⁷¹**). Les résultats de l'enquête sur la nutrition, la santé et la mortalité en Côte d'Ivoire réalisée en décembre 2003, révèlent que la prévalence de la malnutrition chronique dans les strates de l'Ouest, du Nord, du Nord-Ouest, du Nord-Est est plus élevée que celle rapportée par l'enquête démographique et de santé (EDS) de 1998 (25% contre 22%).

Selon l'enquête à indicateurs multiples (MICS) un enfant de moins de cinq ans sur trois (33%) souffre d'une malnutrition chronique modérée et environ un enfant sur six (15%) de malnutrition chronique sévère. Ces niveaux observés au plan national varient selon le sexe, la région et le milieu de résidence.

Les enfants de sexe masculin (16,1%) sont plus touchés par la malnutrition chronique sévère que

ceux de sexe féminin (13,4%). Au niveau du milieu de résidence, la situation est plus préoccupante chez les enfants de moins de cinq ans vivants en zone rurale (17,7%) que ceux vivant en zone urbaine (10,2%). S'agissant du niveau régional, la situation est plus préoccupante dans deux régions: le Nord-Est et le Sud-Ouest où la proportion d'enfants souffrant de malnutrition chronique de forme aiguë est supérieure à la moyenne nationale (14,8%) respectivement de 8 et 6 points.

Concernant la prévalence de l'insuffisance pondérale, on note qu'elle touche près du cinquième (1/5) des enfants de moins de cinq ans (19,2%) observés au cours de l'enquête dans sa forme modérée tandis que 4% de ces enfants sont sévèrement maigres.

La valeur de l'indice qui rend compte du retard de l'insuffisance pondérale selon certaines caractéristiques, en l'occurrence le sexe, le milieu de résidence et la région, fait remarquer des variations. Au niveau des différentes régions, la situation est plus inquiétante dans les régions du Nord-Est, du Sud-Ouest, du Nord et singulièrement dans la région du Nord-Ouest.

Au sujet de la malnutrition aiguë (émaciation en déficience nutritionnelle), on note que 6,7% des enfants sont émaciés dont 1,1% sous la forme sévère. Du point de vue du sexe et du milieu de résidence, les variations du poids pour taille suivant les mêmes tendances que celles décrites précédemment. En effet, la déficience nutritionnelle récente est plus fréquente chez les garçons que chez les filles et cela quelque soit la forme. Il en est de même pour le milieu rural. Les anémies nutritionnelles causées essentiellement par la carence en fer affectaient en 1997, 20% de la population générale, 35% des enfants d'âge préscolaire, 23% d'enfants d'âge scolaire et 45,6% des femmes enceintes.

-Les anémies nutritionnelles

Les anémies prévalent largement dans la plupart des pays africains, affectant notamment un nombre considérable de femmes enceintes. Selon les estimations actuelles, plus de 250 millions d'adultes et d'enfants sont anémiques en Afrique. La principale cause nutritionnelle de l'anémie est la carence en fer ou en folates, due essentiellement à l'absorption insuffisante de fer à partir de régimes alimentaires céréaliers. Des pertes sanguines dues à l'ankylostomiase, à la bilharziose et lors de l'accouchement jouent un rôle prépondérant dans l'aggravation de la carence en fer; le paludisme et les grossesses multiples ne sont pas en reste. De plus les anémies nutritionnelles affectent aussi la plupart des enfants de moins de 5 ans, provoquant des retard de la croissance et du développement, tant au plan physique que mental, de même que des taux accrus de morbidité et de mortalité.

Tous ces facteurs ont des effets socio-économiques extrêmement négatifs sur l'ensemble des populations des différents pays africains. La prévalence de l'anémie se situant entre 50 et 60% chez les femmes enceintes et les enfants d'âge préscolaire de plusieurs pays, les effets sur la productivité

et les revenus, ainsi que sur l'aptitude des mères à prodiguer des soins aux enfants et à s'occuper de leur foyer, c'est tout le futur d'une vie qui s'avère particulièrement compromis à moyen et à long terme.

-Les troubles liés à la carence en iode

Les troubles liés à la carence en iode (TDCI) sont très répandus, notamment dans les régions montagneuses. Plus de 150 millions de personnes au moins sont exposées à ce risque dans 43 pays dont la Côte d'Ivoire, par manque d'iode dans les aliments et dans l'eau. Les manifestations de la carence en iode sont diverses. On les désigne sous l'appellation de "troubles liés à la carence en iode".

Le symptôme le plus évident est le goitre: augmentation du volume de la glande thyroïde qui s'efforce de compenser le manque d'iode. Lorsqu'il touche une partie importante de la population, on parle de goitre endémique; les femmes, en particulier les adolescentes, y sont particulièrement exposées parce que leurs besoins en iode sont plus élevés. Mais le problème le plus grave de la carence en iode est son effet sur le développement du fœtus. Dans les régions où le goitre est endémique, le cas de surdi-mutité et de crétinisme congénital sont plus nombreux qu'ailleurs. Il a été démontré récemment que les enfants nés de mères souffrant de carence en iode peuvent accuser une arriération mentale de profondeur variable qui va de formes très atténuées, difficiles à identifier, au crétinisme franc avec arriération mentale profonde. Les conséquences du goitre endémique pour la santé, ainsi que ses répercussions sur le plan social et économique, sont donc évidentes. Pourtant dans la plupart des pays, il n'a pas reçu l'attention qu'il mérite, sans doute parce que ses effets ne revêtent pas un aspect spectaculaire et les populations parmi lesquelles il sévit connaissent ce problème depuis des générations et l'acceptent comme une chose inévitable. On sait aujourd'hui, les carences en iode entravent considérablement le développement de ces collectivités. Cette situation est d'autant plus intolérable que l'on dispose de moyens efficaces et peu coûteux pour lutter contre les troubles liés à la carence en iode (**Azoulay et Dillon, 1993⁷¹**).

La carence en iode connue depuis très longtemps en Côte d'Ivoire par sa manifestation visible qu'est le goitre, est localisée dans les régions montagneuses de l'Ouest et des plateaux du Nord où des taux de prévalence de 40% à 60% sont rapportés principalement dans la population de femmes en âge de procréer et des enfants d'âge scolaire. Cette situation est influencée par les facteurs socio-économiques, les habitudes, les pratiques d'hygiène individuelle et collective (**Mbengue, 2007⁷²**).

-Les carences en vitamine A

Près de 100 millions d'individus -principalement des enfants- sont exposés à la carence en vitamine A dans plus de 20 pays de la zone aride du continent africain. Dans ces pays, les aliments riches en

pro-vitamine A ou β -carotène; les feuilles et les légumes verts, les fruits jaunes et l'huile de palme rouge sont rares et peu utilisés. Une complémentation de leurs aliments s'avère indispensable. La carence en vitamine A due, soit à un déficit d'apport alimentaire (non consommation des aliments riches en vitamine A), soit à une augmentation des pertes liées aux maladies infectieuses (rougeole, infections respiratoires aiguës, diarrhées), affecte en Côte d'Ivoire pour des raisons écologiques les enfants des zones de savanes avec un taux de prévalence de 31%.

2.3.2. Maladies liées à une alimentation en excès en Afrique subsaharienne.

Aussi paradoxal que cela puisse paraître en Afrique subsaharienne à côté des malnutris, il y a des personnes de surpoids dû à leur alimentation. Ce phénomène dans ses débuts essentiellement urbain et touchant une faible proportion d'individus dits riches, se généralise au niveau de toutes les classes sociales et dans certaines zones rurales. Des enquêtes menées dans des pays à moyen ou faible revenu, qualifiés selon les régions, de pays émergents, de pays en transition ou de pays en voie de développement, nous apprennent que l'obésité et les maladies chroniques non transmissibles liées à l'alimentation y gagnent une place de plus en plus importante (**Delpeuch et Maire, 1997⁷³; Popkin et Doak, 1998⁷⁴**), alors même que ces pays restent encore largement démunis contre nombre de maladies infectieuses et parasitaires ou de problèmes de malnutrition par carences. Une bonne partie de cette évolution découle d'un progrès certain dans la lutte contre la mortalité par maladies infectieuses. L'allongement de la durée moyenne de vie dans ces pays, et donc une plus longue exposition aux facteurs de risque entraîne une hausse des maladies chroniques non transmissibles liées à l'alimentation, plus fréquentes aux âges avancés de la vie par suite d'une évolution lente de ces maladies. Malheureusement ces changements semblent se faire à une vitesse encore jamais égalée dans les sociétés industrialisées du nord, et pour un niveau atteint de développement technique et social très différent, en liaison avec la mondialisation rapide en cours (**Zimmet, 2000⁷⁵; Beaglehole et Yach, 2003⁷⁶**).

3. ELEMENTS PRIS EN COMPTE PAR CETTE ETUDE.

Pour mener à bien notre étude, des éléments suivants ont été pris en compte: protéines, sucres, graisses, cendres, fibre alimentaire, l'humidité, capacité antioxydante totale (TAC), et amidon total pour ce qui est de *Vigna subterranea* et le *Ricinodendron heudelotii*. En ce qui concerne *Solanum indicum*, *Sorghum Guinea-bicolor*, *Digitaria exilis* et *Pennisetum glaucum L.*, la détermination a été faite sur TAC, polyphénols, caroténoïdes (α -carotène, β -carotène, lycopène) et vitamine C.

3.1. Humidité (Azoulay et Dillon, 1993⁷¹).

On peut considérer l'eau comme l'élément primordial. L'homme peut survivre sans manger pendant 20 à 40 jours, mais sans eau, il meurt en 4 à 7 jours. L'eau constitue plus de 60% du poids du corps, dont 61% intracellulaire et le reste extracellulaire. L'eau provient, sauf circonstances particulières comme une alimentation parentérale, des aliments et des boissons que nous consommons. La quantité d'eau ingérée varie considérablement d'un individu à l'autre et dépend de nombreux facteurs, dont le climat et la culture. Les aliments solides peuvent fournir jusqu'à 1 litre et les boissons en apportent 1 à 3 litres. L'eau provient aussi, mais pour moins de 10% habituellement, de l'oxydation de macronutriments à l'intérieur du corps. L'eau est éliminée principalement sous forme d'urine par les reins. Les reins régulent l'élimination de façon à maintenir un équilibre mais si l'apport de boissons diminue, les reins concentrent l'urine pour en excréter moins. En climat chaud, la quantité d'eau éliminée par la sueur et la respiration peut être équivalente ou même supérieure à celle éliminée par les reins. Enfin, une quantité bien plus faible est éliminée dans les selles, sauf en cas de diarrhée, où cette quantité devient importante. L'eau corporelle conditionne le métabolisme du sodium (Na) et du potassium (K), appelés électrolytes. Le sodium est surtout dans les liquides extracellulaires, alors que le potassium est surtout intracellulaire. L'alimentation apporte habituellement des quantités suffisantes de ces électrolytes. Mais, en cas de perte liquidienne, par diarrhée ou hémorragie, l'équilibre sanguin peut être perturbé. L'apport d'eau et l'équilibre électrolytique sont particulièrement importants chez le nourrisson malade. Chez un nourrisson en bonne santé, le lait d'une mère en bonne santé apporte suffisamment d'eau et d'électrolytes pendant 6 mois et l'enfant n'a pas besoin de supplément d'eau, même en pays chaud. Par contre en cas de diarrhée ou d'autres maladies, l'enfant a besoin de boissons supplémentaires.

Alors que l'apport alimentaire est régulé par l'appétit et la disponibilité des aliments, l'apport de liquide (eau) dépend de la sensation de soif, qui a plusieurs origines. En cas de déshydratation, la soif est due à la sécheresse de la bouche mais aussi à des signaux du même centre de satiété hypothalamique que celui qui contrôle la faim. La rétention d'eau dans l'organisme, appelé œdème, est due à un excès de liquide extracellulaire. Deux maladies de carence comportent des œdèmes

majeurs: le kwashiorkor et le bérubéri humide. Cet excès de liquide est lié à des perturbations électrolytiques et à une rétention d'eau secteur intracellulaire exclusivement. Ce qui signifie qu'une personne peut avoir des œdèmes et une déshydratation par diarrhée en même temps; cela peut entraîner une défaillance cardiaque. L'eau peut aussi s'accumuler dans la cavité péritonéale à cause d'une affection hépatique; on appelle cet œdème une ascite (**Latham, 2001⁷⁷**).

3.2. Glucides (Azoulay et Dillon, 1993⁷¹).

De structure chimique brute $C_n(H_2O)_n$ les glucides constituent la principale source d'énergie de la plupart des Africains, des Asiatiques et des Sud-Américains et peuvent atteindre 80% de leur ration quotidienne. Les glucides sont composés de carbones, d'hydrogène et d'oxygène dans les proportions 6:12:6. Leur métabolisme produit de l'énergie et libère du dioxyde de carbone (CO_2) et de l'eau (H_2O). Dans l'alimentation humaine, les glucides sont surtout représentés par l'amidon et différents autres sucres. On peut les diviser en trois groupes

- les monosaccharides comme le glucose, le fructose et le galactose
- les disaccharides, composés de deux sucres simples, doivent être scindés en monosaccharides avant d'être absorbés par l'intestin. Ce sont le saccharose, le lactose et le maltose. Le sucrose ou saccharose est le nom du sucre de table. Il est extrait de la canne à sucre ou des betteraves sucrière. On le trouve aussi dans les carotte et l'ananas. Le lactose se trouve dans le lait animal et humain; sa saveur est beaucoup moins sucrée. Le maltose se trouve par excellence dans les graines germée.
- Les polysaccharides sont les sucres les plus complexes. Ils sont habituellement insolubles dans l'eau et quelques uns seulement sont utilisables par l'homme. Ce sont par exemple l'amidon, le glycogène et la cellulose. L'amidon est une source d'énergie majeure que l'on trouve surtout dans les graines de céréales et dans les racines comme les pommes de terre et les tubercules comme le manioc. L'amidon est libéré par la cuisson sous l'effet de la chaleur qui fait éclaté les granules. Le glycogène est fabriqué par l'organisme; on l'appelle aussi amidon humain. Dans l'intestin, l'amidon du riz ou du manioc, par exemple est scindé en monosaccharide qui passe dans le sang. Les monosaccharides en excédent qui ne sont pas utilisés immédiatement pour produire de l'énergie sont réunis pour formés du glycogène. Le glycogène est stocké dans les muscles et le foi en petite quantité. Tous les glucides digestibles qui sont consommés en quantité supérieure aux besoins immédiats de l'organisme sont transformés en graisse et stockés dans le tissu adipeux sous-cutané ou ailleurs. La cellulose, l'hémicellulose, la lignine, la pectine et les gommés sont parfois appelées glucides non assimilables car l'homme ne peut le digérer. La cellulose et l'hémicellulose sont des polymères végétaux qui constituent la base des parois cellulaires. Ce sont des substances fibreuses. La cellulose qui est un polymère du glucose, est une des fibres des plantes vertes. L'hémicellulose

est habituellement un polymère d'hexose et de pentose. La lignine est le principal constituant du bois. Les pectines se trouvent dans les tissus végétaux et la sève et sont de polysaccharides colloïdaux. Les gommes sont les glucides visqueux extraits des plantes. Les pectines et les gommes sont utilisées par l'industrie alimentaire. Le tube digestif humain ne peut les décomposer ou les utiliser pour produire de l'énergie. Par contre, le bétail possède des bactéries intestinales qui permettent de décomposer la cellulose et de produire de l'énergie. Chez l'homme ces substances non assimilables traversent le tube digestif et constituent la majeure partie du volume et du ballast des selles, c'est pourquoi on les appelle néanmoins «fibres alimentaires». Les fibres font l'objet d'un intérêt croissant car on considère à présent les régimes riches en fibres comme favorables à la santé. Le premier avantage des régimes riches en fibres est de réduire l'incidence de la constipation. Le volume alimentaire produit par les fibres constitue sans doute à la sensation de satiété et devrait permettre de réduire les excès alimentaires et l'obésité. La présence de ces fibres accélère le transit des aliments et contribue donc au bon fonctionnement de l'intestin. Enfin, les fibres se lient à la bile dans l'intestin grêle. On admet à présent que la richesse en fibres de la majorité des alimentations traditionnelles contribuerait largement à la prévention de nombreuses maladies qui sont beaucoup plus fréquentes dans les pays industrialisés. En facilitant le passage rapide des aliments à travers le tube digestif, les fibres pourraient contribuer à limiter les appendicites, les diverticulites, les hémorroïdes et peut-être même l'athérome, cause des maladies coronariennes, et certains cancers. La consommation régulière de glucides collants et fermentescibles peut favoriser les caries dentaires surtout en d'hygiène insuffisante. Le fluor sous forme orale ou en application locale constitue alors la meilleure protection. C'est à partir des glucides qu'on détermine l'index glycémique (**IG**) d'un aliment en utilisant le pain blanc ou le glucose comme aliment standard. Un aliment est dit de faible IG lorsque son index est inférieur à 55; il est moyen lorsqu'il est compris entre 55-70 et enfin il est élevé s'il est supérieur à 70 (**Foster-Powell et al., 2002⁷⁸**).

3.3. Lipides (Azoulay et Dillon, 1993⁷¹).

Dans la plupart des pays en développement, les lipides ne constituent qu'une faible part de la ration énergétique, souvent 8 à 10% seulement. Dans les pays industrialisés, au contraire, cette proportion est bien plus élevée. Aux Etats Unis d'Amérique par exemple, elle est en moyenne de 36%. Les lipides comme les glucides comportent du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène. Ils sont insolubles dans l'eau, mais solubles dans des solvants chimiques comme l'éther, le chloroforme et les benzènes. Le terme «lipides» englobe toutes les graisses comestibles de l'alimentation humaine, qu'elles soient solides à température ambiante comme le beurre, ou liquides comme les huiles d'arachide ou de graines de coton. Les graisses de l'organisme se répartissent en deux groupes: les

graisses structurelles et les graisses de réserve. Ces dernières constituent, comme leur nom l'indique, une réserve d'énergie alors que les lipides de structure font partie intégrante des membranes cellulaires, des mitochondries et de certains organites intracellulaires. Le cholestérol se trouve dans toutes membranes cellulaires, et joue un rôle important dans le transport des lipides et il est le précurseur des sels biliaires et des hormones surrénaliennes et sexuelles. Les lipides alimentaires constituent surtout en triglycérides. Ceux-ci peuvent être scindés en glycérol et en acides gras qui sont des chaînes de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. Cette scission, ou digestion des lipides, se fait dans l'intestin humain sous l'action des enzymes appelées lipases provenant du pancréas ou des sécrétions intestinales. Les sels biliaires fabriqués par le foie, émulsifient les acides gras pour les rendre plus solubles dans l'eau et plus facilement absorbables. Les nombreux acides gras de l'alimentation humaine se répartissent en deux groupes: saturés et insaturés. Ces derniers peuvent être poly ou mono insaturés. Les acides gras saturés possèdent le maximal nombre d'atomes de d'hydrogène que leur structure chimique autorise. Toutes les graisses alimentaires sont un mélange d'acides gras saturés et insaturés. En simplifiant, les graisses provenant d'animaux terrestres (viande, beurre etc.) contiennent plus d'acides gras saturés que de graisses d'origine végétale. Les graisses provenant des végétaux et, jusqu'à un certain point, des poissons, contiennent plus d'acides gras insaturés et surtout poly insaturés (AGPI). Il y a bien sûr des exceptions comme l'huile de coco, qui est riche en acides gras saturés. Cette classification est primordiale en matière de santé car la consommation excessive de graisse saturée est l'un des facteurs de l'athérome et des maladies coronariennes. Les AGPI auraient au contraire un rôle protecteur, et comprend deux acides gras dits essentiels car nécessaires à une bonne santé: les acides linoléique et linoléinique. Ils jouent un rôle majeur dans la synthèse de structures cellulaires et de nombreux composés biologiques importants. Des récentes études ont mis en évidence les effets bénéfiques des acides gras à chaîne longue dans la croissance et le développement des jeunes enfants. Les lipides sont indispensables pour donner un goût mou et agréable aux aliments. Ils apportent aussi 9kcal/g, soit près du double des calories apportées par les glucides et les protéines (environ 4kcal/g); ils permettent donc de réduire le volume des aliments et constituent un véhicule au transport des vitamines liposolubles. Toutes les graisses de l'organisme ne proviennent pas nécessairement des graisses alimentaires. Les calories excédentaires provenant des glucides et des protéines des aliments (maïs, manioc, riz, blé etc.) peuvent être converties en graisse dans l'organisme.

3.4. Protéines (Azoulay et Dillon, 1993⁷¹).

Tout comme les glucides et lipides, les protéines contiennent du carbone de l'hydrogène et de l'oxygène, mais aussi de l'azote et souvent du soufre. L'azote est un élément primordial nécessaire à

la croissance et à la cicatrisation . Les protéines sont les principaux constituants structurels des cellules et des tissus et constituent avec l'eau la majeure partie des muscles et des organes. Elles varient d'un tissu à un autre selon qu'elles sont dans le foie, le sang ou les hormones. Elles sont nécessaires pour:

- la croissance et le développement du corps;
- l'entretien, la cicatrisation et le remplacement de tissus usés ou endommagés;
- la production d'enzymes métaboliques et digestives;
- la constitution des hormones comme la thyroxine et l'insuline.

Bien que les protéines puissent aussi fournir de l'énergie, elles sont surtout des constituants essentiels des cellules. Toutes les cellules doivent être remplacées à un moment ou un autre et ce remplacement nécessite des protéines. Les protéines consommées en excès, de la ration nécessaire à la croissance, au renouvellement des cellules et des liquides biologiques et à diverses autres fonctions métaboliques, sont transformées en glucides et stockées comme réserve d'énergie. Si l'apport calorique des glucides et des lipides de la ration est insuffisant, une partie des protéines est transformée en énergie et donc indisponible pour la croissance, le renouvellement cellulaire et les autres besoins métaboliques. Cela est particulièrement important pour les enfants qui ont besoin de plus de protéines pour leur croissance; si ils ne reçoivent pas assez de nourriture pour leurs besoins en énergie, une partie des protéines consommées est utilisée pour produire de l'énergie. Les protéines sont de grosses molécules faites de chaînes d'acides aminés liés par des liaisons peptidiques. Les différentes protéines correspondent à des acides aminés différents liés de manière différente. Le nombre élevé d'acides aminés permet un grand nombre de combinaisons, donc de protéines différentes. Lors de la digestion, sous l'action des enzymes protéolytiques gastriques et intestinales, les protéines sont scindées en peptides et en acides aminés de la même façon que les amidons sont scindés en monosaccharides et les lipides en acides gras. Les végétaux sont capables de synthétiser des acides aminés à partir de substances chimiques organiques. Les animaux n'ont pas cette capacité; les acides aminés dont ils ont besoin proviennent tous de la consommation de plantes ou autres animaux. Comme les protéines des animaux consommés par l'homme viennent des plantes consommées par les animaux, tous les acides aminés humains ont une origine végétale. La capacité de convertir un aa en un autre varie chez les animaux et est très limitée chez l'homme. Cette conversion a lieu essentiellement dans le foie. Si la possibilité était limitée, cela simplifierait considérablement le problème de la ration protéique et de prévention des carences. Il suffirait donc de fournir une quantité suffisante de n'importe quelle protéine sans tenir compte de sa qualité, c'est-à-dire de sa composition en aa. Parmi les nombreux, seuls vingt (20) sont communs aux plantes et aux animaux. Parmi eux huit (8) sont considérés comme indispensables à l'homme adulte et son

appelés essentiels: la phénylalanine, le tryptophane, la méthionine, la lysine, la leucine, l'isoleucine, la valine et la thréonine. Un neuvième acide aminé, l'histidine, est indispensable à la croissance et donc indispensable pour les enfants; il pourrait aussi être nécessaire à la cicatrisation. Les autres acides aminés sont: la glycine, l'alanine, la sérine, la cystéine, la tyrosine, l'acide aspartique, l'acide glutamique, la proline, l'hydroxyproline, la citrulline et l'arginine. Chaque protéine comporte un mélange spécifique d'acides aminés qui contiennent ou pas les huit essentiels.

Pour évaluer la valeur protéique d'un aliment, il faut savoir combien de protéines totales il contient et quels acides aminés, notamment essentiels, et dans quelles proportions. Certaines protéines ont plus de mélange d'acides aminés que d'autres; on dit qu'elles ont une bonne valeur biologique ou ont une valeur biologique élevée. L'albumine de l'œuf et la caséine du lait, par exemple contiennent les 8 aa essentiels dans de bonnes proportions et sont supérieures à la zéine du maïs qui contient peu de tryptophane et de lysine, ou à la protéines du blé qui contient très peu de lysine. Il ne faut pas pour autant considérer que les protéines du blé et du maïs sont sans valeur: elles contiennent une certaine quantité d'aa essentiels et d'autres aa. Leurs insuffisances peuvent être compensées si on les consomme avec d'autres protéines qui contiennent une plus grande quantité d'aa efficaces. Deux aliments qui ont une valeur protéique basse (mais différents en contenu d'acides aminés) peuvent ainsi aboutir à un mélange d'excellente qualité protéique s'ils sont consommés ensemble. L'homme et surtout l'enfant qui consomme une nourriture carencée en protéines animales a besoin d'un ensemble varié d'aliments d'origine végétale et pas seulement d'un aliment de base. Dans de nombreux plats traditionnels, des légumes tels qu'arachides, haricots, pois chiches etc., bien que pauvres en aa soufrés, complètent parfaitement les céréales pauvres en lysine. Un mélange de protéines végétales, surtout si elles sont consommées lors du même repas, peuvent donc remplacer valablement les protéines animales. La FAO a produit des tableaux sur le contenu en aa essentiels de différents aliments qui permettent de voir quelles sont les associations ou formulations les plus favorables. Il reste ce pendant à vérifier que la quantité totale de protéines et d'aa soit suffisante.

La qualité d'une protéine dépend donc dans une large mesure de sa composition en aa et de sa digestibilité. Si un ou plusieurs aa essentiels manquent, la qualité de la protéine diminue. L'aa essentiel le plus déficient est appelé «acide aminé limitant». C'est lui qui détermine le renouvellement de l'ensemble de la protéine. Si l'alimentation habituelle est déficiente en aa essentiel, cette carence limite l'utilisation des autres aa pour construire de nouvelles protéines. La détermination du score d'aa ou du score chimique consiste à comparer le rendement protéique de l'aliment considéré avec celui d'une protéine de grande qualité comme l'œuf. On peut donc définir le score comme le rendement de l'aliment protéique considéré, par rapport à celui des protéines de l'œuf. L'utilisation protéique nette (UPN) mesure le pourcentage de protéine utilisé par rapport à la

quantité consommée. La notion importante à retenir ici est que la valeur protéique est variable et que seul le mélange de plusieurs aliments améliore la qualité protéique des repas.

Les protéines de l'alimentation subissent une série de transformations et de modifications chimiques dans le tube digestif. La physiologie de cette digestion est complexe: les protéines sont hydrolysées en acides aminés, sous l'action de la pepsine et de la trypsinogène gastriques, de la trypsinogène pancréatique et de l'érepsine intestinale. La majorité des aa est absorbée dans l'intestin grêle et passe dans le courant sanguin pour gagner le foie et les autres organes. Tout excédent d'acides aminés est scindé en deux parties: le groupement (NH_2) sera excrété dans l'urine sous forme d'urée et le reste transformé en glucose ou en énergie. On a maintenant les preuves qu'une petite fraction des protéines gagne certaines cellules de la paroi intestinale. Certaines pourraient jouer un rôle dans la transmission de l'immunité de la mère à son nouveau-né. Une faible partie des protéines et aa libérés dans l'intestin n'est pas absorbée. Elle forme l'azote fécal avec les cellules desquamées des villosités intestinales remaniées par les bactéries et les différents microorganismes intestinaux. La majorité des protéines humaines se trouve dans les muscles. Il n'existe pas de véritable système de stockage des protéines comme il en existe un pour les graisses et le glycogène. Mais on est certain à présent qu'un individu nourri a suffisamment de protéines dans son organisme pour rester en bonne santé même si son apport alimentaire de protéines est interrompu quelques jours.

3.5. Antioxydants.

Les antioxydants sont des substances qui, mêmes présents en faibles concentrations par rapport à celles du substrat oxydable, retardent de manière significative ou en inhibent l'oxydation.

Les antioxydants sont importants par leurs actions destructives contre les radicaux libres: suite au stress oxydatif les molécules stables perdent un électron et deviennent instables. Ces molécules instables appelées radicaux libres attaquent d'autres molécules dans les cellules saines à la recherche d'un électron supplémentaire. L'exposition quotidienne à la fumée, au stress physiques et d'autres polluants produit des radicaux libres dans le corps humain. Ce processus perturbe et détruit les cellules. Ces cellules endommagées stimulent le vieillissement. Plus le nombre de cellules endommagées est important, plus le processus de vieillissement s'accélère (**Browner et al., 2004**⁷⁹).

Les modalités d'action sont diverses et classent les antioxydants en primaires et secondaires. Les antioxydants primaires éliminent les espèces réactives de l'oxygène (**ROS**) qui représentent ou produisent les radicaux précurseurs de la chaîne peroxydative; chez l'homme les enzymes agissent de cette manière, majoritairement les intracellulaires telles que superoxydo-dismutase, catalase et glutathion peroxydase et composés non enzymatiques tels que l'acide ascorbique, l'acide urique, les groupes thiols des protéines plasmatiques et glutathion. Parmi les antioxydants primaires il y a les

éventuels chélatants qui lient les ions métalliques dans une forme qui ne permet pas de catalyser des réactions radicalaires; dans le plasma humain, cette action est réalisée par l'acide urique et des protéines telles que la transferrine, l'albumine et la céruloplasmine. Les antioxydants secondaires, présents surtout dans les liquides extracellulaires, inhibent la propagation de la chaîne peroxydative en interagissant avec les radicaux peroxyliques et alcooxyliques et pour cette raison ils sont aussi appelés «chain-breaking»; agissent ainsi le β -carotène et les tocophérols.

3.5.1. Polyphénols.

Les polyphénols, également dénommés composés phénoliques, sont des molécules spécifiques du règne végétal. Cette appellation générique désigne un vaste ensemble de substances aux structures variées qu'il est difficile de définir simplement. L'élément structural de base est un noyau benzénique auquel sont directement liés un ou plusieurs groupes hydroxyles, libres ou engagés dans une autre fonction chimique (éther méthylique, ester, sucre, etc). Un critère supplémentaire, biosynthétique, permet de mieux cerner les limites de ce groupe: un composé phénolique est un dérivé non azoté dont le ou les cycles aromatiques sont principalement issus du métabolisme de l'aide shikimique et/ou de celui d'un polyacétate (**Bruneton, 1993⁸⁰**). Cette définition est parfois élargie puisque les capsaïcinoïdes sont considérés par certains auteurs comme des polyphénols alors qu'au sens strict, ce ne sont que des dérivés de polyphénols. Selon leurs caractéristiques structurales, ils se répartissent dans différentes familles: anthocyanes, coumarines, lignanes, flavonoïdes, tannins, quinones, acides-phénols, xanthones.... Ces espèces sont des monomères, des polymères, ou des complexes dont la masse moléculaire peut atteindre 9000 D (**Harborne, 1993⁸¹**). Les polyphénols sont le principe actif de nombreux médicaments: rutoside (flavonoïde) isolé de plusieurs plantes (eucalyptus, sarrasin, sophora), extrait de mélilot tiré en coumarine, podophyllotoxine (lignane) extraite de la résine de podophylle. Utilisés dans l'industrie pharmaceutique comme protecteur vasculaire, les oligomères procyanidoliques (**OPC**) de pépins de raisin sont aussi utilisés en cosmétique pour lutter contre les radicaux libres et les effets du soleil. Les extraits de romarin ainsi que les tocophérols, co-produits de l'industrie céréalière, ont des propriétés antioxydantes largement utilisées dans l'agro-alimentaire. L'intérêt majeur des anthocyanosides, c'est leur pouvoir colorant, d'où leur utilisation comme additif alimentaire. A l'heure actuelle, le chou rouge et les peaux de raisin dominent le marché des matières premières pour la production de ces substances. Comme beaucoup de composés phénoliques, les pigments anthocyaniques se comportent également comme des piègeurs de radicaux libres. Substances amères, astringentes ou sucrées, les polyphénols sont aussi des aromatisants de choix (tanins de chêne, vanilline, anisaldéhyde, etc.). Ils concernent des marchés aussi divers que ceux de la

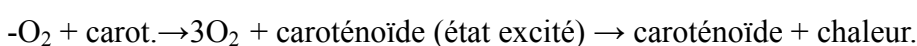
pharmacie, l'agro-alimentaire, la cosmétique et les nutraceutique notamment. Les polyphénols constituent aussi une vaste classe de composés subdivisés en flavonoïdes et acides phénoliques: aux premiers appartiennent les flavanols, flavonols, flavones, isoflavones, flavanones, anthocyanes et les tanins; aux seconds appartiennent plutôt les acides shikimiques et benzéniques. La large variété de composés phénoliques existants, se démontre par une riche diversité de structures chimiques dotées de différentes caractéristiques et une diverse biodisponibilité: seulement peu de composés atteignent des concentrations significatives *in vivo*. L'absorption intestinale de la plupart des polyphénols est plutôt limitée et ils sont métabolisés soit au niveau des tissus soit par la flore bactérienne du côlon (**Schwedhelm, 2003**⁸²). Les polyphénols sont ubiquitaire dans le monde végétal, en particulier ils sont abondamment présents dans les fruits des plantes spontanées et en général dans les fruits et légumes. Plusieurs études ont démontré leur capacité de limiter l'oxydation *in vivo* et *in vitro* et ont permis de supposer plusieurs effets bénéfiques sur la santé (**Moure et al., 2001**⁸³). L'épigallocatechine gallate (**EGCG**), appartenant à la famille des flavanols, est le principale polyphénol bioactif présent dans le thé vert et exerce un puissant pouvoir antioxydant. Nombre d'études confirment que le EGCG peut diminuer le risque de maladies cardiovasculaires en inhibant l'augmentation des ROS, en outre il participe au procès anti-inflammatoire, abaisse le niveau du cholestérol dans le sérum, augmente le nombre des HDL et inhibe le développement de l'athérosclérose (**Liang et al., 2006**⁸⁴).

3.5.2. Caroténoïdes.

Les caroténoïdes constituent un vaste groupe de pigments rouges, oranges et jaunes, présents dans les aliments surtout végétaux. De manière particulière ils donnent de la couleur à l'abricot, mangues, melon d'été, légumes à feuilles larges, brocoli, piments rouges, poivrons, tomates, carottes, maïs jaunes. Les éventuelles méthodes de cuisson ne l'altèrent pas, mais au contraire augmentent sa biodisponibilité (**Barasi, 2003**⁸⁵). Leur structure est caractérisée par deux anneaux à 6 atomes de carbone (ouverts ou fermés) liés entre eux par une longue chaîne isoprénique qui contient seulement des atomes d'oxygène et de carbone (carotène ou hydrocaroténoïdes) ou alors un ou plus atomes d'hydrogène (xanthophyle ou oxycaroténoïdes) (**Stahl et Sies, 2004**⁸⁶). L'étendu système de doubles liaisons conjuguées est responsable de la couleur des caroténoïdes, de leur stabilité à la lumière et en détermine les principales fonctions biologiques (**Stahl et Sies, 2004**⁸⁶). Dans la nature, on a identifié 600 caroténoïdes mais seulement peu sont absorbés en quantités suffisantes pour être révélés dans le plasmas humain: il s'agit de la β -carotène, la lutéine, le lycopène, la α -carotène, la β -cryptoxantine et la zéaxantine (**Faulks et Southon, 2004**⁸⁷). Certains parmi eux ont des activités vitaminiques, c'est le cas de la β -carotène, α -carotène et la β -cryptoxanthine, car elles peuvent être

converties en rétinol ou vitamine A (**Stahl et Sies, 2004⁸⁶**), sous cette forme, elles jouent un rôle important dans la vision nocturne, dans la différenciation cellulaire et dans la synthèse des glycoprotéines (**Barasi, 2003⁸⁵**). Le lycopène, la lutéine et son stéréo-isomère zéaxantine par contre n'ont pas d'activité vitaminique. Les caroténoïdes ont une nature liposoluble par conséquent sont absorbés avec un rendement de 5 à 50%, en même temps que les graisses au niveau de l'intestin grêle. Parmi les entérocytes certains sont convertis en rétinol (on a l'efficacité majeure pour la β -carotène: 6 μ g servent pour avoir 1 μ g de rétinol) (**Faulks et Southon, 2004⁸⁷**). A travers les chylomicrons, ils se déplacent d'abord dans le système lymphatique et après dans le sang. Les caroténoïdes et les rétinylesters présents dans les chylomicrons se retrouvent en suite dans les résiduels où ils peuvent être convertis en rétinol ou être remobilisés par les cellules hépatiques en tant que composants des lipoprotéines à densité très basse (**VLDL**). Les caroténoïdes sont présents au niveau des membranes plasmiques et des protéines (les 80% du lycopène et du β -carotène sont dans le LDL, tandis que la lutéine la zéaxantine sont équitablement distribuées en LDL et HDL) (**Faulks et Southon, 2004⁸⁷**).

Les caroténoïdes sont disposés au niveau des tissus adipeux, alors que le site de stockage du rétinol est le foie, au niveau des cellules étoilées. Tous les caroténoïdes sont des efficaces antioxydants et en particulier ils sont impliqués le blocage de l'oxygène singulet ($-O_2$) et des radicaux peroxylique à travers deux voies: physique et chimique. Dans le premier cas il y a transfert de l'énergie d'excitation de $-O_2$ à caroténoïde qui ramène l'oxygène au niveau fondamental d'énergie tandis que le caroténoïde passe à un niveau de triplet excité; à ce point le caroténoïde revient à son état fondamental en dissipant l'énergie en excès par voie thermique (**Stahl et Sies, 2004⁸⁶**), selon la formule:



Dans ce processus le caroténoïde, telle une enzyme, reste inaltéré et peut affronter un autre cycle de destruction ou de blocage d'oxygène singulet (**Stahl et Sies, 2004⁸⁶**). Dans le second cas les caroténoïdes agissent comme des électron-donneurs et réduisent les radicaux libres; par ex. le radical peroxylique, en composés non- radicalaires; dans ce cas les caroténoïdes assument la forme de radical cationique (**McEligot et al., 2005⁸⁸**).

3.5.2.1. β -carotène.

Le β -carotène est l'un des plus importants et naturels antioxydants. Il est le pigment liposoluble trouvé dans les plantes (notamment carottes et autres fruits et légumes colorés) et dans les algues marines *Dunaleilla salina* et *Dunaleilla bardawil*. Les suppléments de β -carotène proviennent premièrement du *D. salina*. Le β -carotène est l'un des principaux caroténoïdes alimentaires et l'un

des plus nombreux et biologiquement actifs des caroténoïdes présents dans les aliments. Chez l'homme on le trouve dans les tissus lipidiques et adipeux. Le β -carotène est surtout considéré comme un nutriment essentiel, appelé provitamine A, car il devient essentiel lorsque l'absorption de la vitamine A est faible. Dans les plantes et algues, le β -carotène et d'autres caroténoïdes attirent la lumière pour la photosynthèse et constituent une protection contre les formes toxiques de l'oxygène. Le β -carotène est un puissant antioxydant car il détruit les radicaux libres toxiques de y compris l'oxygène singulet devenant très destructeur des tissus humains, s'il n'est pas rapidement neutralisé. En Afrique sub-saharienne près de trois millions d'enfants de moins de 5 ans souffrent des maladies des yeux causées par un déficit de vitamine A pouvant conduire à la cécité et à la mort. Pourtant l'huile rouge de palme qui rentre dans plusieurs plats africains et contenant beaucoup de provitamine A est aujourd'hui substituée par des huiles de cuisine importées; ce qui a réduit considérablement cette source alimentaire dans nombre de foyers. Différents fruits et légumes contiennent aussi de la provitamine A mais ils ne sont pas consommés en quantité suffisante. La carence de vitamine A est la cause qui conduit à la cécité partout dans le monde. Le β -carotène est l'un des plus importants additifs alimentaires et le plus largement utilisé comme colorant dans les aliments et boissons (**Faure et al., 1999⁸⁹**). Le β -carotène est aussi un vrai précurseur de la vitamine A, il est à noter qu'il a une action protectrice contre certains types de cancers humains (**Steinmetz et Potter, 1996⁹⁰**) et certaines maladies cardiovasculaires (**Gaziano et al., 1992⁹¹**). Les résultats d'une étude de **Touvier et al. (2005⁹²)** ont montré que le β -carotène est inversement associé au risque de certains cancers chez les femmes n'ayant jamais fumé régulièrement au cours de leur vie, vraisemblablement en raison de son effet antioxydant. Chez ces femmes, la consommation de β -carotène devrait donc être encouragée, en particulier sous forme de fruits et légumes riches en β -carotène comme les carottes et les épinards, qui pourraient également apporter d'autres antioxydants. En revanche, chez les femmes ayant déjà fumé régulièrement, il est important de décourager la supplémentation en β -carotène. Ces résultats sont cohérents avec certaines données épidémiologiques (**Omenn et al., 1996⁹³**; **Baron et al., 2003⁹⁴**; **Nkondjock and Ghadirian, 2004⁹⁵**) et expérimentales chez l'animal ou sur des lignées cellulaires (**Welch et al., 1999⁹⁶**; **Palozza et al., 2004⁹⁷**). La structure moléculaire du β -carotène peut changer de la forme *trans* à la forme *cis*. Toutes les formes *trans* se convertissent principalement en 9-*cis* et 13-*cis*- β -carotène par traitement thermique ou par exposition à la lumière. D'autres formes telles que 15-*cis*- β -carotène et 13, 15-di-*cis*- β -carotène peuvent être formées. L'augmentation de la quantité des *cis*-isomères diminue l'activité de la provitamine A et l'intensité de la couleur (**Chen et al., 1995⁹⁸**). Plusieurs études ont démontré la thermo-isomérisation du β -carotène (**Aman et al., 2005⁹⁹**; **Vasquez-Caicedo et al., 2007¹⁰⁰**). Les résultats d'isomérisation dans une solution indique que la composition isomérique

dépend surtout du solvant. En général, 9-cis et 13-cis- β -carotène pourraient se interconvertir l'un dans l'autre (**Pesek and Warthson, 1990**¹⁰¹). L'isomérisation de la forme cristallisée de all-trans- β -carotène a montré que la concentration de all-trans- β -carotène décroît significativement tandis que les formes cis-isomères ne se produisent qu'à des températures supérieures à 120°C (**Chen et al., 1994**¹⁰²; **Chen et Huang, 1998**¹⁰³). En outre des recherches sur la thermo-oxydation du β -carotène en 1-butanol (**Elualja et al., 1995**¹⁰⁴), en système aqueux (**Henry et al., 2000**¹⁰⁵) et lipide (**Liu et Chen, 1998**¹⁰⁶) ont montré que l'isomérisation n'est pas la seule réaction au cours des différents traitements. L'étude du mécanisme pendant l'auto-photo-catalyse et la photosensibilité oxydatives du β -carotène ont aussi montré que la stabilité du β -carotène est influencée par les hautes températures et la concentration de l'oxydation de l'oxygène au cours du traitement thermique (**Bonnie et Choo, 1999**¹⁰⁷).

3.5.2.2. α -carotène.

Le corps humain peut convertir l' α -carotène et le béta carotène en vitamine A pour maintenir la peau et les os en bonne santé, une bonne vision et un solide système immunitaire. En tant que précurseur de la vitamine A, l' α -carotène est seulement efficace à moitié comparé à la β -carotène. Cependant l' α -carotène peut être plus efficace que la β -carotène en tant qu'antioxydant. L' α -carotène peut aider à prévenir le cancer en stimulant une meilleure communication entre les cellules, un procédé que des études ont relevé être nécessaire pour assurer une bonne division des cellules.

Les carottes, les courges, les brocolis, les choux frisés, les cantaloupes, les mangues et les épinards sont de très bonnes sources de α - carotène.

3.5.2.3. Lycopène.

Le lycopène est un pigment de rouge brillant dérivant des caroténoïdes. Par photochimie, il est synthétisé dans la tomate et d'autres fruits et légumes rouges tels que les pastèques et les papayes, mais n'existent pas dans les fraises et les cerises. Dans les plantes, algues et autres organismes photosynthétiques, le lycopène constitue un important intermédiaire dans la biosynthèse de plusieurs caroténoïdes, y compris le β -carotène, responsable de la pigmentation jaune, orange et rouge, de la photosynthèse et de la photoprotection. La synthèse commence avec l'acide mévalonique qui est converti en diméthylallylpyrophosphate. Celui-ci est ensuite condensé avec trois molécules d'isopanténylpyrophosphate (un isomère du diméthylallylpyrophosphate), pour donner le vingtième carbone du géranylgeranylpyrophosphate. Deux molécules de ce produit sont ensuite condensées (queue à queue) dans une configuration pour donner le quarantième carbone du phytoène, le premier pas de la structure pour la biosynthèse des caroténoïdes. A travers plusieurs

passages de désaturation, le phytoène est converti en lycopène. Les deux groupes isopréniques terminaux du lycopène peuvent être cyclisés pour produire le β -carotène, qui ensuite peut être transformé en une large variété de xanthophyles (**Armstrong et Hearst, 1996**¹⁰⁸).

Structurellement, c'est un tétraterpène qui regroupe 8 unités isopréniques, composé entièrement de carbone et d'hydrogène et est insoluble dans l'eau et ne peut être dissout que dans les solvants organiques et dans l'huile. Le lycopène est constitué de 11 doubles liaisons conjuguées qui donnent son intense couleur rouge et sont également responsables de l'activité antioxydant de la molécule. Il est utilisé en agroalimentaire comme colorant grâce à sa forte couleur et à sa non-toxicité. Le lycopène n'est pas essentiel en tant que nutriment pour l'homme, mais on le trouve communément dans la diète, principalement dans les plats préparés à base de sauce de tomate. Lorsqu'il est absorbé dans l'intestin, le lycopène est transporté dans le sang par différentes lipoprotéines et est accumulé dans le foie, la glande surrénale etc. Lorsqu'il est exposé à la lumière ou à la chaleur, le lycopène peut s'isomériser en certains de ses nombreux isomères tels que cis-isomères qui a une forme courbe plutôt que linéaire. Différents isomères ont différentes stabilités dues à leur énergie moléculaire (la plus haute stabilité: 5-cis \geq all-trans \geq 9-cis \geq 13cis>15cis>7cis>11cis: la plus basse) (**Chasse et al., 2001**¹⁰⁹). Dans le sang humain, plusieurs cis-isomères constituent plus de 60% de la concentration totale de lycopène, mais les effets biologiques de chaque isomères n'ont pas étudiés (**Rao et al., 2003**¹¹⁰).

Les fruits et les légumes qui contiennent une importante quantité de lycopène sont la tomate, le pamplemousse rose, le piment rouge, la goyave, la papaye etc. (tableau 4). Même si le gac (*Momordica cochinchinensis* spreng) est le plus riche en lycopène de plusieurs fruits et légumes connus, au delà de 70 fois plus que la tomate (**USDA**), à cause de sa rareté, on le trouve que dans sa région d'origine du Sud-Est Asiatique, les tomates et les produits à base de tomate tels que jus, sauce et ketchup apportent plus de 85% de lycopène alimentaire de plusieurs peuples (**Rao, 2007**¹¹²).

Le contenu en lycopène de la tomate dépend des espèces et du taux de maturation du fruit (**Khan et al., 2008**¹¹³). Contrairement à d'autres fruits et légumes où le contenu nutritionnel de la vitamine C diminue au cours de la cuisson, les transformations thermiques de la tomate augmentent la concentration et la biodisponibilité du lycopène. Les produits de transformation de la tomate tels que le jus pasteurisé de tomate, soupe, sauce et ketchup ont une concentration et une biodisponibilité en lycopène plus élevées de la tomate à partir de laquelle ces produits ont été obtenus. Tomate cuite et écrasée (purée tel que la tomate en boîte) et portion de plats riche en huile (comme les sauces de spaghetti ou de pizza) augmente beaucoup l'assimilation dans le sang au niveau du tube digestif.

Le lycopène est liposoluble et l'huile aide son absorption. Le gac est une véritable exception et contient des concentrations élevées de lycopène et aussi d'acides gras saturés et insaturés (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/473350>). Le gac est une prometteuse source commerciale de lycopène dans le but de son extraction et purification. Une autre source de lycopène est le champignon (*Blakeslea trispora*).

Tableau 4: Sources alimentaires du lycopène (**Rao et Rao, 2007¹¹¹**)

Sources alimentaires du lycopène	
Source	µg/g poids humide.
Gac	2,000-2,300
Tomate fraîche	8.8-42
Jus de tomate	86-100
Sauce tomate	63-131
Ketchup	124
Melon	23-72
Pamplemousse rose	3.6-34
Goyave	54
Papaye	20-53
Purée de fruit rose	7.8
Abricot	< 0.1

Ses effets protecteurs contre le cancer et les maladies cardiovasculaires sont exposés notamment dans deux synthèses d'études (**Rao et Agarwal, 2000¹¹⁴**). En 1999 des chercheurs américains ont analysé 72 études portant sur le lien entre la consommation de produits de la tomate, le taux sanguin de lycopène et le risque de cancer: 57 études rapportaient un lien inverse et 35 concluaient à un lien statistiquement significatif. Les données les plus probantes de cette synthèse portent sur le cancer de la prostate, du poumon et de l'estomac (**Giovannucci, 1999¹¹⁵**). De fait, chez l'homme le lycopène se concentre dans les tissus prostatiques, où son taux, parmi les caroténoïdes présents, est le plus élevé. Les études cliniques ont ainsi montré que la proportion de lycopène dans le plasma sanguin est inversement proportionnelle au risque de développer un cancer de la prostate. Il a également été montré que lorsque le cancer est déjà déclaré, le lycopène en réduit notablement l'agressivité.

Une récente étude montre qu'en plus de protéger les poumons contre le cancer, le lycopène aurait une action bénéfique sur l'ensemble du système respiratoire (**Schünemann et al., 2002¹¹⁶**). Il est également apparu que l'effet inhibiteur du lycopène sur la croissance des cellules cancéreuses provenant de la muqueuse utérine et du sein est très efficace (**Nahum et al., 2001¹¹⁷**).

On dispose encore d'assez peu de données concernant l'action du lycopène à l'égard des maladies cardiovasculaires, mais les indices continuent de s'accumuler. Une recherche, portant sur 33 sujets a constaté un lien entre le taux sanguin élevé de lycopène et une protection contre l'athérosclérose (**Gianetti et al., 2002¹¹⁸**). Bien que les effets protecteurs du lycopène soient généralement attribués à son activité antioxydant, pour ce qui est plus des maladies cardiovasculaires, toutefois, les chercheurs s'orientent également vers l'existence de propriétés hypolipémiantes (inhibition de la formation du cholestérol et participation à la dégradation des acides gras) propres au lycopène (**Arab et Steck, 2000¹¹⁹**).

3.5.3. Vitamine C.

La vitamine C ou acide ascorbique, ubiquitaire dans les fruits, légumes et légumes, est particulièrement abondante dans les pamplemousses, kiwis, mangues, agrumes et melons d'été (**McEligot et al., 2005⁸⁸**). L'absorption avec l'alimentation est nécessaire par ce que l'homme, à différence de presque tous les animaux, n'est pas en mesure de la synthétiser car ne possédant pas l'enzyme L-gulonolactone-oxydase, dernière enzyme de la chaîne biosynthétique qui, du glucose porte à l'acide ascorbique. La vitamine C est hydrosoluble, particulièrement instable à pH non acide et représente le principal antioxydant au niveau extracellulaire. L'acide L-ascorbique (l'unique stéréoisomère à être biologiquement actif) possède un puissant pouvoir réducteur dû à la présence du groupe caractéristique énediol, formé par deux oxydriles liés à deux carbones entre lesquels est interposé une double liaison; pour cette raison il est en mesure de donner un ou deux électrons aux deux formes qui dérivent de son oxydation, et peuvent être régénérées: le radical ascorbyle de l'enzyme NADPH-dépendant déhydroascorbate réductase, tandis que le déhydroascorbique de l'enzyme ascorbique réductase, dépendant du glutathion. La vitamine C est impliquée dans la biosynthèse: du collagène (empêche l'apparition du scorbut), de la noradrenaline, des acides biliaires et des hormones stéroïdes, en outre il intervient dans le métabolisme du fer. Plusieurs études en *in vitro* et *in vivo* effectuées sur les fonctions antioxydant de la vitamine C ont montré qu'elle peut diminuer les dommages causés à l'ADN, et par conséquent réduire le risque de cancer; récemment il a été prouvé la capacité de la vitamine C de réguler les facteurs impliqués dans l'expression génique, dans le système immunitaire, et dans d'autres fonctions cellulaires (**McEligot et al., 2005⁸⁸**).

3.5.4. Capacité antioxydante totale (TAC).

La capacité antioxydante totale (TAC) peut être définie comme la capacité globale d'un aliment ou d'un fluide corporel de contraster les radicaux libres; ceci ne provient pas simplement de la somme

des seuls antioxydants présents mais de leurs interactions synergiques (**Pellegrini et al., 2003**¹²⁰). Il est important de distinguer activité antioxydante et capacité antioxydante: l'activité antioxydant se rapporte à un seul composé antioxydant; la capacité antioxydante est relative au mélange d'antioxydants (**Ghiselli et al., 2000**¹²¹). L'ascorbate est parmi les premiers à s'oxyder en condition de stress, successivement, sauf lorsqu'il est consommé, interviennent d'autres composés. L'oxydation concerne: les groupes thiols de certaines protéines (céruloplasmine, albumines et transfélines), la bilirubine qui bloque surtout les radicaux peroxydes et l'urate qui cède les métaux (fonction possédée aussi par les polyphénols) et réduit la quantité de l'ozone (**Thomas et Mallis 2002**¹²²). D'origine exogène sont par contre les molécules à activité vitaminique comme certains caroténoïdes et les vitamines C et E, et d'autres avec activité non vitaminique tels que les caroténoïdes et polyphénols. Pour évaluer la TAC des fluides corporels et des aliments, diverses méthodes analytiques ont été développées avec chacune ses propres caractéristiques.

3.5.4.1. Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP).

Le FRAP mesure le pouvoir réducteur voire la capacité de l'échantillon de réduire le complexe TPTZ-Fe³⁺ incolore sous la forme TPTZ-Fe²⁺ colorée à basses valeurs de pH. La méthode fournit l'estimation de la totale capacité réductrice et électron-donneur des antioxydants (**Frankel et Meyer, 2000**¹²³). Les résultats peuvent être exprimés comme $\mu\text{mol Fe}(\text{n})$ équivalent/L ou par rapport à un antioxydant standard (**Antolovich et al., 2002**¹²⁴). Le principal désavantage de cette méthode est le fait de mesurer une capacité réductrice qui ne reflète pas nécessairement l'activité antioxydant *in vivo* (**Frankel et Meyer, 2000**¹²³).

3.5.4.2. Total Radical-Trapping Antioxidant Parameters (TRAP).

Le TRAP mesure la capacité du plasma d'interrompre la chaîne radicalaire en «éteignant» les radicaux peroxydes. Pendant une réaction peroxydative, les antioxydants contenus dans le plasma offrent protection à la protéine R-ficoeritrine (R-P_e) qui, seulement à leur élimination, est consommée par le générateur chimique de radicaux (2,2'-diazobis 2-amidinopropane hydrochloride, ABAP) avec pour conséquence la diminution de sa fluorescence. Le TRAP a été appliqué, non seulement pour déterminer la capacité antioxydant du plasma, mais aussi d'aliments et boissons. Une critique faite au TRAP test, concerne l'utilisation d'un azo-composé hydrosoluble artificiel tel que le générateur de radicaux, qui ne permet pas d'évaluer l'activité chélatante de métaux des molécules comme l'urate et l'activité antioxydant de composés lipophiles comme la vitamine E (**Frankel et Meyer, 2000**¹²³).

3.5.4.3. Trolox Equivalent Antioxidant Capacity (TEAC).

Le TEAC est une méthode basée sur la formation du radical cationique ABTS⁺ (chromophore bleu-vert). Le chromophore a son absorption maximum à 415nm, 645nm, 734nm et 815nm. L'addition d'antioxydants au radical cationique préformé, détermine une réduction qui porte à une décoloration avec perte d'absorbance à 734nm proportionnelle à l'activité antioxydant et à la quantité des composés pris en compte (**Pellegrini et al., 1999**¹²⁵).

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE GENERALE

1. Schofield, C., Ashwort, A. Why have mortality rates for severe malnutrition remained so high? Bulletin of the World Health Organization **1996**, 74: 223-229.
2. Brabin, B.J., Coulter, J.B.S. Nutrition-associated disease. In: Cook, G.C., Zumla AIManson's tropical diseases. London. United Kingdom: Saunders **2003**, 561-580.
3. FAO. L'état de l'insécurité alimentaire dans le monde. Rome. Italie; FAO **2004**, 43.
4. Mosso, K., Kouadio, N., Koulibaly, S., Kouman, K.G. Utilisation alimentaire des amandes de *Ricinodendron heudelotii* ssp *heudelotii* en Côte d'Ivoire. In Kapseu, C., Kayem, G.J., Actes du 2ème Séminaire Safou, 3-5 décembre 1997. Ngaoundéré. Cameroun: Presse Universitaire de Yaoundé **1998**, 325-341.
5. Linnemann, A.R., Azam-Ali, S.N. Bambara groundnut (*Vigna subterranea*). In: Williams, J.T., Pulses and vegetables. Chapman and Hall. London. United Kingdom **1993**, 13-58.
6. Mazza, G., Miniati, E. Anthocyanins in fruits, vegetables and grains. XV Sunflower **1996**, 312-313.
7. Agrahar-Murugkar, D., Subbulakshmi, G. Nutritional value of edible wild mushrooms collected from the khasi hills of Meghalaya. Food Chemistry **2005**, 89: 599-603.
8. N'dri, M.T.K., Gnahoua, M.G., Konan, E.K., Traoré, D. Plantes alimentaires spontanées de la région du Fromager (Centre Ouest de la Côte d'Ivoire) flore, habitats et organes consommés. Sciences & Nature **2008**, 5: 61-70.
9. Sahn, D. The contribution of income to improved Nutrition in Côte d'Ivoire. Journal of African Economies **1994**, 3(1): 29-61.
10. Straus, J. House holds, communities and Preschool children's Nutrition outcomes: Evidence from Rural Côte d'Ivoire. Economic Development and Cultural Change **1990**, 38(2): 231-261.
11. FAO/SMIAR. Situation Alimentaire et Perspectives de Récolte en Afrique en céréales et pourcentage livré en Afrique subsaharienne. Rapport sur l'Afrique N°1 **2004**, 1-20. www.fao.org/docrep/007/J2780f/J2780f00.htm
12. Nutrition for improved development outcomes. New York. Nations Unies **2004**.
13. Nations Unies, Déclaration du Millénaire. New York. Nations Unies **2000**.
14. FAO/PAM. Rapport spécial alimentaire en Côte d'Ivoire **2004**.
15. Amani, G.N., Kamenan, A. Potentialités nutritionnelles et technologie traditionnelle de transformation des denrées amylacées en Côte d'Ivoire. 2ème Atelier international / 2 International Workshop. Voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionne. Food-based approaches for a healthy nutrition. Ouagadougou **2003**.
16. Vivien, J., Faure, J.J. Arbres des forêts denses d'Afrique Centrale. Paris. France: Agence de Coopération Culturelle et Technique **1985**.
17. Tshiamala-Tshibangu, N., Ndjiba, J.D. Utilisations des produits forestiers autres que le bois (PFAB) au Cameroun : cas du projet forestier Mont Koupé. Revue de Medicines et Pharmacopees Africaines **1999**, 13: 19-32.
18. Keumedjio, F. Contribution à l'étude chimique des plantes médicinales du Cameroun. *Ricinodendron heudelotii* (Euphorbiacée). Thèse de Doctorat 3ème cycle. Université de Yaoundé. Cameroun **1990**, 100.
19. Kimbu, S. F., Keumedjio, F., Sodengam, L. B., Cnnolly, J. D. Two dinorditerpenoids from *Ricinodendron heudelotii*. Phytochemistry **1991**, 30(2): 619-621.
20. Pieraert, M. Contribution à l'étude chimique des noix de Sanga-Sanga ou *Ricinodendron africanum*. Bulletin de l'agence des Colonies **1917**, 10: 28-37.
21. Tchiegang, C., Kapseu, C., Ndjouenkeu, R., Ngassoum, M.B. Amandes de *Ricinodendron heudelotii* (Bail). Matière première Potentielle pour les industries Agro-alimentaires Tropicales. Journal of Food Engineering **1997**, 32: 1-10.
22. Kapseu, C., and Tchiégang, C. Chemical composition of *Ricinodendron heudelotii* Bail. Seed oil. Journal of Food Lipids **1995**, 2: 87-88.
23. Mabderley, D. J. The plant-book. A portable Dictionary of the higher plants, Cambridge University press: Cambridge. United Kingdom **1987**, 607.
24. Kay, D.E. Food legumes. Crops and Product. Digest n°3 Tropical Products Institute, London, United Kingdom **1979**, 435.
25. FAO. Legume in human nutrition. FAO food and nutrition series n°19. Food and Agricultural Organisation. Rome **1964**, 115-116.

26. Oyenuga, V.A. Nigeria Foods and Feeding Stuffs: their chemistry and nutritive value. Ibadan University Press. Ibadan. Nigeria **1968**, 99.
27. Moose, J., Baudet, J. Crude protein content and amino acid composition of seeds: Variability and correlation. Plant Foods for Human Nutrition **1983**, 32: 225.
28. Oshodi, A.A., Olaofe, O., Hall, G.M. Amino acid, fatty acid and mineral composition of pigeon pea (*Cajanus cajan*). International Journal of Food Science and Nutrition, **1993**, 43(4): 187-191.
29. Oshodi, A.A., Ipinmorati K.O., Adeyeye, E.I., Hall, G.M. In vitro multienzyme protein digestibility of African yam bean. Journal Science of Food and Agriculture **1995**, 69: 373-377.
30. Apata, D.F., Ologhobo, A.D. Trypsin inhibitor and other anti-nutritional factors in tropical legume seeds. Tropical Science **1997**, 37(1): 52-59.
31. Champ, M.M.J. Non-nutrient bioactive substance of pulses. British Journal of Nutrition **2002**, 88(3): 307-319.
32. Nwokolo, E. Bambara groundnut (*Vigna subterranea*) In: Nwokolo, E., Smartt, J., Food and Feed from legumes and oilseeds. Chapman and Hall. London. United Kingdom **1997**, 216-221.
33. Swaminathan, M. In: Essentials of food and nutrition. Ganesh and Co. Madras **1974**, 158-276.
34. Oboh, G., Akindahunsi, A.A. Biochemical changes in cassava products (flour & gari) subjected to *Saccharomyces cerevisiae* solid fermentation. Food Chemistry **2003**, 82(4): 599-602.
35. Taranathan, R.N., Mahadevamm, S. Grain Legumes a Boon to human nutrition. Trends in Food Science and Technology **2003**, 14: 507-518.
36. Oboh, G., Rocha, J.B.T. Polyphenols in red pepper [*Capsicum annum* var. aviculare (Tepin)] and their protective effect on some pro-oxidants induced lipid peroxidation in brain and liver. European Food Research and Technology **2006**, 225(2): 239-247.
37. Sesay, A., Collison, S.T., Azam-Ali, S.N. Where are we now with bambara groundnut? In : Proceedings of the international Bambara Groundnut Symposium. University of Nottingham. United Kingdom **1996**, 215-228.
38. Azam-Ali, S.N. Evaluating the potential of Bambara groundnut (*Vigna subterranea* L. *Verdc*) as a food crop for Semi-Arid Africa Proc. 3rd SADC Regional Conference on Land and Water Management. Harare. Zimbabwe **1992**, 203-217.
39. Wolbling, G. Bambara groundnut (*Vigna subterranea* L. *Verdc*): Plant Density Trial in Northern Namibia. Master Thesis. Lehrstuhl firpflanzenbau und pflanzenzchtung.
40. Jirapa, P., Normah, H., Zamaliah, M.M., Asmah, R., Mohamad, K. Nutritional quality of germinated cowpea flour (*Vigna unguiculata*) and its application in home prepared powdered weaning foods. Plants Foods for Human Nutrition **2001**, 56(3): 203-216.
41. Minka, S.R., Bruneteau, M. Partial chemical composition of Bambara pea (*Vigna subterranea* L. *Verdc*). Food Chemistry **2000**, 68: 273-276.
42. Onyenekwe, P.C., Njoku, G.C., Ameh D.A. Effect of cowpea processing methods on flatus causing oligosaccharides. Nutrition Research **2000**, 20: 349-358.
43. Besancon, P. Safety of complementary foods and Bioavailability of nutrients. In: Dop, M.C., Benbouzid, D., Tréche, S., de Benoist, B., Verster, A., Delpeuch, F. Complementary feeding of young children in Africa and the middle East. World Health Organisation. Geneva **1999**, 59-73.
44. Aberoumand, A., Deokule, S.S. Comparison of phenolic compounds of some edible plants of Iran and India. Pakistan Journal of Nutrition **2008**, 7: 582-585.
45. Mona, E., Hiroyuki, M., Tsuyoshi, I., Jong-Hyun L., Hitoshi, Y., Toshihiro, N., Kotaro, M. New spirostanol glycoside from fruit of *Solanum indicum* L. Chemical & Pharmaceutical Bulletin **2009**, 57(7): 747-748.
46. Aberoumand, A., Deokule, S.S. Studies of nutritional values of some wild edible plants from Iran and India. Pakistan Journal of Nutrition **2009**, 8 : 26-31.
47. Awika, J.M., Rooney, L.W. Phytochemicals from sorghum and their impact on human health. Phytochemistry **2004**, 65: 1199-1221.
48. USDA/FAS. United States Department of Agriculture/ Foreign Agricultural Service: <http://www.Fas.usda.gov/ustrade/USTExfatus.asp:QI> November 2003

49. Ministère de l'Agriculture et des Ressources Animales MINAGRA. L'agriculture ivoirienne à l'aube du xxième siècle. Multimedia- Abidjan (C.I.) **1998**.
50. Fenster, A. Resume. *Phytoprotection* **2003**, 84(3): 165.
51. Seenapa, M. Sorghum and millets in East Africa with reference to their use in weaning foods. In : Alnwick, D., Moses, S., Schmidt, O.G. Improving young child feeding in eastern and southern Africa. Nairobi. Kenya : centre de recherche pour le développement international **1988**, 39-54.
52. Obilana, A.T. Sorghum for industrial use: approach towards crop improvement in an economically changing Nigeria. Paper presented to the food industrialists at Cadbury Nigeria Ltd, Lagos **1985**.
53. Groupement National Interprofessionnel des Semences et Plantes GNIS. Cultivons la diversité des plantes cultivées. www.semencemag.com
54. Mac Masters, M.M. , Hinton, J.J.C., Bradbury, D. Microscopic structure and composition of the Wheat kernel. In Pomeranz, Y. Wheat: chemistry and technology. American Association of Cereal Chemistry **1971**, 51-113.
55. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement CIRAD. www.cirad.fr
56. Attiey K., Leblanc, J.M. Prospection des mils-sorgho-fonio en Côte d'Ivoire. Rapport de mission. IDESSA/ORSTOM **1979**.
57. Association Ivoirienne des Sciences Agronomiques AISA. Quatrièmes assises: Le développement agro-pastoral et agro-industriel du Nord de la Côte d'Ivoire. Cas des départements de Korhogo-Boundiali- Ferkessédougou **1991**.
58. Aboua, F., Nemlin, J., Kossa, A., Kamenan, A. Transformation traditionnelle de quelques céréales cultivées en Côte d'Ivoire. In : John. Céréales en régions chaudes. AUPELF-UREF libbey Eurotext **1989**, 223-229.
59. Mensah, G.A. A heart-healthy and “stroke-free” world through policy development, systems change, and environmental supports: a 2020 vision for subsaharan Africa. *Ethnicity & Disease* **2003**, 13: 4-12.
60. Unwin, N., Setel, P., Rashid, S., Mugusi, F., Mbanaya, J.C., Kitange, H., Hayes, L., Edwards, R., Aspray, T., Alberti, K.G.M.M. Noncommunicable diseases in subsaharan Africa: Where do the feature in the health research agenda. *Bulletin of the World Health Organization* **2001**, 79: 947-953.
61. Hodge, J.V., Nye, E.R., Emerson, G.W. *Lancet* **1964**, 1: 1108.
62. Puoane, T., Sreyn, K., Bradshaw, D., Laubscher, Fourie, J.R., Lambert, V., Mbananga, N. Obesity in South Africa: the South Africa demographic and health survey. *Obesity Research* **2002**, 10: 1038-1048.
63. Vorster, H.H. The emergence of cardiovascular disease during urbanisation of Africans. *Public Health Nutrition* **2002**, 5: 239-243.
64. Walker, R.W., McLarty, D.G., Kitange, H.M., Whiting, D., Masuki, G., Mtasiwa, D.M., Machibya, H., Unwin, N., Alberti, K.G.M.M. and on behalf of the Adult Morbidity and Mortality Project. Stroke mortality in urban and rural Tanzania. *Lancet* **2000**, 355: 1684-1687.
65. Ekpo, E.B., Udofia, O., Eshiet, N.F., Andy, J.J. Demographic, lifestyle and anthropometric correlates of blood pressure of Nigerian urban civil servants, factory and plantation workers. *Journal of Human Hypertension* **1992**, 6: 275-280.
66. Ssongwi, E., Mbanaya, J.C., Unwin, N.C., Kengne, A.P., Fezeu, L., Minkoulou, E.M., Aspray, T.J., Alberti, K.G.M.M. Physical activity and its relationship with obesity, hypertension and diabetes in urban and rural Cameroon,. *International Journal of Obesity* **2002**, 26: 1009-1016.
67. Pasquet, P., Temgoua, L.S., Melaman-Sego, F., Froment, A., Rikong-Adie, H. Prevalence of overweight and obesity for urban adults in Cameroon. *Annual of Human Biology* **2003**, 30: 551-62.
68. Lettres à la rédaction / *Archives de pédiatrie* **2003**, 10: 158-163.
69. OMS Bureau Régional de l'Afrique 54^e session Brazzaville. Congo **2004**.
70. OMS/AFRO, status of infant and young child feeding in sub-saharan Africa, Brazzaville, Bureau régional de l' OMS pour l'Afrique **2001**.
71. Azoulay, C., Dillon, J.C. La sécurité alimentaire en Afrique. Karthana. Paris **1993**.
72. Mbengue, A. Organisation Ouest Africaine de la Santé (OOAS): Forum des Nations de la CEDEAO-Juillet **2007**.
73. Delpeuch, F.M.B. Obésité et développement des pays du Sud. *Medecine Tropicale* **1997**, 57: 380-388.
74. Popkin, B.M. Doak, C.M. The obesity epidemic is a worldwide phenomenon. *Nutrition Reviews* **1998**, 56: 106-114.

75. Zimmet, P. Globalization, coca-colonization and the chronic disease epidemic: Can the Doomsday scenario be averted? *Journal of Internal Medicine* **2000**, 247: 301-310.
76. Beaglehole, R, Yach, D. Globalization and the prevention and control of non-communicable disease: The neglected chronic diseases of adults. *Lancet* **2003**, 362: 903-908.
77. Latham, G.P. The importance of understanding and changing employee outcome expectancies for gaining commitment to an organizational goal. *Personnel Psychology* **2001**, 54: 707-716.
78. Foster-Powell, H., Holt, S.H.A., Brand-Miller, J.C. International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *American Journal of Clinical Nutrition* **2002**, 76: 5-56.
79. Browner, W.S. Kahn, A.J., Ziv, E. Reiner, A.P., Oshima, J., Cawthon, R.M., Hsueh, W.C., Cumming, R.S. The genetics of human longevity. *American Journal of Medicine* **2004**, 117(11): 851-860.
80. Bruneton, J. *Pharmacognosie Phytochimie Plantes medecinales*, 2ème édition **1993**, 915.
81. Harborne, J.B. *Biochemistry of plant pollination. Introduction to Ecological Biochemistry*, 4th Edition Academic Press. London **1993**, 36-70.
82. Schwedhelm, E., Maas, R., Troost, R., Bogher, R.H. Clinical pharmacokinetics of antioxidants and their impact on systemic oxidative stress. *Clinical Pharmacokinetics* **2003**, 42: 437-459.
83. Moure, A., Cruz, T.M., Franco, D., Dominguez, J.M., Sinaeiro, J., Dominguez, H., Nun, M.J., Parajo, J.C. Natural antioxidants from residual sources. *Food Chemistry* **2001**, 72: 145-171.
84. Liang, J., Yagasaki, H., Kamachi, Y., Hama, A., Matsumoto, K., Kato, K., Kudo, K., Kojima, S. Mutation in telomerase catalytic protein in Japanese children with aplastic anaemia. *Haematologica*, **2006**, 91(5): 656-658.
85. Barasi, M.E. *Human Nutrition: A health Perspective* 2nd edn, London **2003**.
86. Stahl, W., Sies, H. Carotenoids in systemic protection against sunburn. In: Krinsky, N.I. Mayne, S.T., Sies, H. *Carotenoids in Health and Disease*. New York **2004**, 105-126.
87. Faulks, R.M, Southon, S. Challenges to understanding and measuring carotenoid bioavailability. *Biochimica and Biophysica Acta* **2005**, 1740: 95-100.
88. McEligot, A.J., Yang, S. Meyskens, F.L.J. Redox regulation by intrinsic species and extrinsic nutrients in normal and cancer cells. *Annual Review of Nutrition* **2005**, 25: 261-295.
89. Faure, A., Fayol, V., Galubert, C. Carotenoide: 1- Metabolisme and physiologic. *Annales de Biologie Clinique* **1999**, 57: 169-183.
90. Steinmetz, K.A., Potter, J.D. Vegetables, fruit and cancer prevention: a review. *Journal of American Dietary Association* **1996**, 96: 1027-1039.
91. Gaziano, J.M., Manson, J.E., Buring, J.E., Hennekens, C.H. Dietary antioxidants and cardiovascular disease. In: Sauberlich, H.E., Machlin L. J. *Beyond Deficiency New Views on the function and Health Effects of vitamins*. The New York Academy of Sciences **1992**, 669: 249-259.
92. Touvier, M., Kesse, E., Clavel-Chapelon, F., Boutron-Ruault, M.C. Dual Association of beta-carotene with risk of tobacco-related cancer in a cohort of French women. *Journal of the National Cancer Institute* **2005**, 97: 1338-1344.
93. Omenn, G.S., Goodman, G.E. Thornquist, M.D., Balmes, J., Cullen, M.R., Glass, A., Keogh, J.P., Meyskens, F.L., Valanis, B., Williams, J.H., Barnhart, S., Hammar, S. Effects of a combination of beta-carotene and vitamin A on lung cancer and cardiovascular disease. *The New England Journal of Medicine* **1996**, 334(18): 1150-1155.
94. Baron, J.A., Cole, B.F., Mott, L., Haile R., Grau, M., Church T.R., Beck, G.J., Greenberg, E.R.. Neoplastic and antineoplastic, effects of beta-carotene on colorectal adenoma recurrence: results of a randomized trial. *Journal of the National Cancer Institute* **2003**, 95: 717-722.
95. Nkondjioc, A., Ghadirian, P. Dietary carotenoids risk of colon cancer: case-control study. *International Journal of Cancer* **2004**, 110: 110-116.
96. Welch, R.W., Turley, E. Sweetman, S.F., Kennedy, G., Collins, A.R., Dunne, A., Livingstone, B., McKenna, P.G., McKelvey-Martin, V.J., Strain, S. Dietary antioxidant supplementation and DNA damage in smokers and nonsmokers. *Nutrition and Cancer* **1999**, 34: 167-172.

97. Palozza, P., Serini, S., Di Nicuolo, F., Boninsegna, A., Torsello, A., Maggiano, N., Ranelletti, F.O., Wolf, F.I., Calviello, G., Cittadini, A. Beta-carotene exacerbates DNA oxidative damage and modifies P53-related pathways of cell proliferation and apoptosis in cultured cells exposed to tobacco smoke condensate. *Carcinogenesis* **2004**, 25: 1315-1325.
98. Chen, B.H., Peng, H.Y., Chen, H.E. Changes of carotenoids, color and vitamin A content during processing of carrot juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **1995**, 43(7): 1912-1918.
99. Aman, R., Schieber, A., Carle, R. Effects of heating and illumination on trans-cis isomerization and degradation of beta-carotene and lutein in isolated spinach chloroplast. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **2005**, 93: 9512-9518.
100. Vasquez-Caicedo, A.L., Schilling, S., Carle, R., Neidhart, S. Effects of thermal processing and fruit matrix on beta-carotene stability and enzyme inactivation during transformation of mangoes into purée and nectar. *Food Chemistry* **2007**, 102: 1172-1186.
101. Pesek, C.A., Warthesen, J.J. Kinetic model for photoisomerization and concomitant photodegradation of beta-carotenes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **1990**, 38: 1313-1315.
102. Chen, B.H., Chen, T.M., Chien, J.T. Kinetic model for studying the isomerization of alpha and beta-carotene during heating and illumination. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **1994**, 43: 1912-2318.
103. Chen, B.H., Huang, J.H. Degradation and isomerization of chlorophyll a and beta-carotene as affected by various heating and illumination treatments. *Food Chemistry* **1998**, 62: 299-307.
104. Elualja, H., Perrin, D., Martin, R. Influence of beta-carotene on the included oxidation of ethyl linoleate. *New Journal of Chemistry* **1995**, 19: 1187-1198.
105. Henry, P., Stevenson, R., Larbi, Y., Gariepy, C. Nd isotopic evidence for early to late archean (34-27 Ga) crustal growth in the western superior province (Ontario Canada). *Tectonophysics* **2000**, 322: 145-151.
106. Liu, M.H., Chen, B.H. Relationship between chlorophyll a and β -carotene in a lipid-containing model system during heating. *Food Chemistry* **1998**, 61: 41-47.
107. Bonnie, T.Y.P., Choo, Y.M. Oxidation and thermal degradation of carotenoids. *Journal of Oil Palm Research* **1999**, 11(1): 62-78.
108. Armstrong, G.A., Hearst, J.E. Carotenoids 2: Genetics and molecular biology of carotenoids pigment biosynthesis. *The FASEB Journal* **1996**, 10(2): 228-37.
109. Chasse, G.A., Malk, M.L., Deretey, E., Farkas, I., Torday, L.L., Papp, J.G., Sarma, D.S.R., Argarwal, A., Chakravarthi, S., Argarwal, S., Rao, A.V. An ab initio computational study on selected lycopene isomers. *Journal of Molecular Structure: THEOCHEM* **2001**, 571(1-3): 27-37.
110. Rao, L.G., Guns, E., Rao, A.V. Lycopene: its role in human health and disease. *Agro Food Industry Hi-Tech* **2003**.
111. Rao, A.V., Rao, L.G. Carotenoids and human health. *Pharmacological Research* **2007**, 55(3): 207-216.
112. Rao, L.G. Tomato lycopene and bone health: preventing osteoporosis. In: R.A.V., Tomatoes, lycopene and human health. Preventing Chronic Diseases, Caledonia Science Press: Barcelona. Spain **2007**, 153-166.
113. Khan, N., Afaq, F., Mukhtar, H. Cancer chemoprevention through dietary antioxidants: progress and promise. *Antioxidant and Redox Signaling* **2008**, 10(3): 475-510.
114. Rao, A.V., Agrarwal, S. Role of antioxidant lycopene in cancer and heart disease. *Journal of the American College of Nutrition*, **2000**, 19(5): 563-569.
115. Giovannucci, E. Tomatoes, tomato-based products, lycopene and cancer: review of the epidemiologic literature. *Journal of the National Cancer Institute*, **1999**, 91: 317-331.
116. Schünemann, H.J., McCann, S., Grant, B.J., Trevisan, M., Muti, P., Freudenheim, J.L. Lung function in relation to intake of carotenoids and other antioxidant vitamins in a population-based study. *American Journal of Epidemiology* **2002**, 155(5): 463-471.
117. Nahum, A., Hirsch, K., Danilenko, M., Watts, C., Prall, O., Levy, J., Sharoni, Y. Lycopene inhibition of cell cycle progression in breast and endometrial cancer cells is associated with reduction in cyclin D levels and retention of P27 (Kip1) in the cyclin E-cdk2 complexes. *Oncogene* **2001**, 20: 3428-3436.
118. Gianetti, J., Pedrinelli, R., Lazzarini, G., De Caterina, M., Bellomo, G., De Caterina, R. Inverse association between carotid

- intima-media thickness and the antioxidant lycopene in atherosclerosis. *American Heart Journal* **2002**, 143(3): 467-74.
119. Arab, L., Steck, S. Lycopene and cardiovascular disease. *The American Journal of Clinical Nutrition* **2000**, 71: 1691-1695.
 120. Pellegrini, N., Serafini, M., Colombi, B., Del Rio, D., Salvatore, S., Bianchi, M., Brighenti, F. Total antioxidant capacity, beverages and oils consumed in Italy assessed by three different in vitro assay. *The Journal of Nutrition* **2003**, 133: 2812-2819.
 121. Ghiselli, A., Serafini, M., Natella, F., Scaccini, C. Total antioxidant capacity as a tool to assess redox status: critical view and experimental data. *Free Radical Biology and Medicine* **2000**, 29: 1106-1114.
 122. Thomas, J.A., Mallis, R.J. Aging and oxidation of reactive protein sulfhydryls. *Experimental Gerontology* **2001**, 36: 1519-1526.
 123. Frankel, E.N., Meyer, A.S. The problems of using on dimensional methods to evaluate multifunctional foods and biological antioxidants. *Journal of the Science and Food Agriculture* **2000**, 80: 1925-1941.
 124. Antolovich, M., Prenzler, P.D., Patsalides, E., McDonald, S., Robards, K. Methods for testing antioxidant activity. *The Analyst* **2002**, 127: 183-198.
 125. Pellegrini, N., Re, R., Yang, M., Rice-Evans, C.A. Screening of dietary carotenoids and carotenoid-rich fruit extracts for antioxidant activities applying the 2, 2'-azobis (3-ethylenebenzothiazoline-6-sulfonic) acid radical cation decoloration assay. *Methods in Enzymology* **1999**, 299: 379-389.

Chapitre 2

COMPOSITION AND ANTIOXIDANT PROFILE OF TWO IVORIAN TYPICAL WILD VEGETABLES USED IN TRADITIONAL RECEPTES

INTRODUCTION: Ricino-Vigna

Several wild fruits and vegetables are consumed in Africa and particularly in Côte d'Ivoire.

Ricinodendron heudelotii

Ricinodendron heudelotii (*Euphorbiaceae*) is a big tree which grows in world tropical area (Vivien and Faure, 1985). In sub-saharan Africa it is one of main tree of the tropical forest above all equatorial area. The tree has several local names as 'Njansan' in Camerun (Tshiamala-Tshiabangu and Ndjigba, 1999) or 'Akpi' in Côte d'Ivoire (Mosso et al., 1998). The edible part of the fruit (almond) is rich in lipids (Kapseu and Tchiegang 1995; Mbofung et al., 1994; Pieraerst 1917), but contents also proteins, carbohydrates, minerals and vitamins (Aboubakar Dandjouma 2000; Tiki Manga et al., 2000). Usually, *Ricinodendrum h.* is used as spice and seasoning in lot of African soups (Mosso et al., 1998). Since the almond is particularly rich of fat, the oil is extract and largely consumed.

Vigna subterranean

Its African name, Bambara groundnuts, derives from the name of a Mali tribe called "Bambara" (Linnemann and Azam-Ali 1993) and botanically is a member of the family *Fabaceae* (*Leguminosae*) (Mabderley, 1987). The seed contains proteins (from 8.2 to 16.6%), carbohydrates (51.2 to 57%), fats (from 5.5 to 8.6%), fibers (from 5.5 to 6.4%), ashes (from 3.2 to 4%). Several important minerals are also present (Ca 95.8-99, Fe 5.1-9.9, K 1144.7-1435.5 and Na 2.9-10.6 mg/100g) (Fasoyiro et al., 2006). Moreover, it contains toxic factor and anti-nutrients such as protease inhibitors, heamagglutinins, growth inhibitors and phytate, which are partially or completely eliminated by different methods of processing (Swaminathan, 1974; Oboh et al., 2003; Tharanathan and Mahadevamma, 2003; Oboh, 2006a).

This legume is usually consumed in many ways: fresh (boiled or eaten as snack), or dry transformed in powder (in soups or in dough to fry).

AIM

The aim of this study was to characterize composition and antioxidant profile of these two African products.

MATERIALS AND METHODS

Ricinodendron heudelotii and *Vigna subterranea* were bought at the big market of Abidjan in Côte d'Ivoire. After milling, the samples were stored in plastic bags at -20 °C before analyses. All determinations were performed in triplicates.

Compositional analyses

Moisture

Moisture content was determined by oven drying according to the AOAC approved method 925.09 (2002)²⁶.

Ash

The determination of ash content was done according to AOAC 33244 n° 990.20 (1995) procedure. Dried material was ashed in an electric oven SELECT-HORN (JP SELECTA, SA ESPAGNA) for 5h by heating at 525 °C and the content was determined gravimetrically.

Protein

The protein content was determined with official method AOAC 34.01.05 n°925.31 (1995). The determination of overall nitrogen protein content was done with Kjeldahl method (AOAC N° 925.31, 1995) and the conversion factor was 6.25.

Fat substance

The fat content was determined using Soxhlet method, (AOAC 31.04.02 n° 963.16, 1973).

Food fiber: total, soluble and insoluble.

The soluble, insoluble and total fibre contents were determined with enzymatic-gravimetric Prosky method (AOAC 991.43, AOAC 985.29, AACC 32-07 and AACC 32-05).

Total starch determination.

The total starch content was determined with official method: Amyloglucosidase- α -Amylase Method (AOAC 996.11, 2002).

Determination of total antioxidant capacity

Direct measurement was based on the procedure described by us elsewhere (Serpen et al., 2008). Ten mg of ground uncooked sample and 30 mg of cooked sample was transferred to a centrifuge tube. All uncooked samples were initially diluted with cellulose powder (1:10, w:w), which was found inert toward the ABTS reagent in the assay conditions below described, in order to allow weighing 10 mg, thus ensuring good reproducibility, for such samples with high antioxidant capacity, as previously suggested (Serpen et al., 2008). The reaction was started by adding 6 mL of ABTS reagent previously prepared by reacting a 7 mmol/L aqueous solution of ABTS with 2.45 mmol/L potassium persulfate (Re et al., 1999) and further dissolved in the mixture of ethanol:water (50:50, v/v). The tube was placed in an orbital shaker and the mixture was rigorously shaken until

centrifugation to facilitate a surface reaction between the solid particles and the ABTS reagent. After centrifugation at 9200 x g for 2 min, optically clear supernatant was separated and absorbance measurement was performed at 734 nm exactly after 30 min.

For both determinations, the antioxidant capacity was expressed as mmol of Trolox per 100 g of sample by means of a dose-response curve.

Determination of FRAP

The samples were extracted following the procedure described by Pellegrini et al. (2003) and were analyzed in triplicate for antioxidant capacity by ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay (Benzie & Strain, 1999). FRAP values were expressed as millimoles of Fe²⁺ equivalents per 100 g of sample.

Determination of Polyphenols

The phenolic compounds were extracted following the procedure described by Crozier et al. (1997), and determined by the Folin–Ciocalteu assay using methods described by Adom et al., (2002). Briefly, the extracts were oxidized with Folin-Ciocalteu reagent, and the reaction was neutralized with sodium carbonate. The absorbance of the resulting blue color was measured at 760 nm. Data are reported as mean ± SD for at least three replications.

RESULTS AND DISCUSSIONS

In table 1 and table 2 are shown the results of analyses.

Table 1: compositional analyses of *Ricinodendron h.* and *Vigna s.* (g% DM).

	<i>Ricinodendron heudelotii</i>	<i>Vigna subterranea</i>
Moisture	8.08	11.72
Ash	7.36	2.95
Protein	24.75	18.08
Fat	56.32	1.43
Total starch	0.80	52.19
Sugar	0.29	2.42
Total fibre	1.4	10.30

Table 2: Total phenol content (Folin test) and antiradical activity (FRAP test) of *Ricinodendron h.* and *Vigna s.*

<i>Samples</i>	<i>Folin</i> ¹	<i>FRAP</i> ²	<i>TEAC</i> ³
<i>Ricinodendron h.</i>	7.7 ±0.2	17.5	7.1± 0.2
<i>Vigna s.</i>	7.1 ±0.0	6.2	2.2± 0.0

¹(g poliphenol/100g) ²(mmol of Fe²⁺/100g) ³(mmol Trolox /Kg)

Ricinodendron heudelotii moisture percentage was 8.08 and 7.36 for ash content. The relative high moisture content could be conditioned by sun dry time, locality of production and conservation place before analysis. Protein content of this berries was studied to range from 22.08 to 27.62g/100g on dried substance (Aboubakar Dandjouma, 2000; Tchiégang et al., 1997; Tiki Manga et al., 2000), but our result is 24.75% and is more similar to the results performed by Ahmed G, et al., 2010 (24. 98%). With this amount of protein, this berries could be used to combat malnutrition protein-energetic (MPE) of children in our countries. Total starch was calculated as 0.80% and fiber content was 1.40%. The rate of fat was found 56.32%, less than the percentage calculated for the almond of about 63% (Kapseu and Tchiegang, 1995; Mbofung, Gee and Knight, 1994; Pieraerts, 1917), but higher than the analyzed content of fat in cotton seeds (35-40%) and soybeans (15-25%) (Cheftel and Cheftel, 1977), two classical oily plants. The consumption of the oil extract from almond of *Ricinodendron h.* is studied as involved in the synthesis of HDL lipoprotein and decreasing of LDL lipoprotein (Moundipa et al., 1998) because of its polyunsaturated fatty acids composition (Hilditch and Riley 1946). Elaeostearic acid is the major acid present in the composition (50% of the total fatty acids).

TEAC of *Ricinodendron heudilotii* was calculated as 7.1 ± 0.2% (mmol Trx/kg), while total polyphenols was 7.7 ± 0.2 (g/kg) and FRAP value was 17.5 (mmol of Fe²⁺/100g).

In *Vigna subterranea*, moisture calculated was 11.72% and 2.95% the ash percent. Protein content was 18.08%; this percent is confirmed by another study (Onimawo et al., 1998) that founded protein range from 17.5 to 21.1%. With this rate of protein, *Vigna s.* can be used as complementation food to enrich others. Furthermore, Bambara groundnuts was already studied because rich in lysine, an essential aminoacid important in African diet poor in protein (Massawe et al., 2005). Fat content was 1.43% and fiber 10.30%. The high fiber content is due to the thick and

hard peel of berries. As *Ricinodendron h.* also *Vigna s.* is particularly rich of antioxidants. Total TEAC was 2.2 ± 0.0 (mmol Trx/kg), polyphenol was 7.1 ± 0.0 (g/kg) and FRAP 6.2 (mmol of $\text{Fe}^{2+}/100\text{g}$). In 1997, Apata and Ologhobo (1997) analyzed the tannin content in two species of *Vigna subterranean* and they observed that different processing methods, such as cooking, roasting and autoclaving, significantly reduced the tannin content in this legume. Dehulling, soaking, boiling could also lower the tannin content (Champ, 2002; Nwokolo, 1997). On the contrary, Bambara groundnut has been studied as rich in anthocyanins compounds as cyanidin, malvidin and delphinidin glycosides (Mazza and Miniati, 1996). As cited before, different processing techniques could be degraded the important phenolic fraction of these two vegetables and, therefore, it is important to study the best technique for food preparation in order to maintain their antioxidant capacity.

CONCLUSION

Two vegetables wildy growing in the Côte d'Ivoire have been analysed for their content in nutrients and phytochemicals. The study shows that these two edible legumes are a good source of macro and micronutrients and fiber. *Ricinodendron h.* is particularly rich of fat and it would be interesting to analyse the lipid fractions for evaluating the nutritional value of the lipid profile. In the same way, *Vigna s.* contains a high amount of starch and it would be interesting to determinate the amount of resistant starch for better understand the nutritional profile. Regarding technological and economic aspects, it would be interesting to industrialise employment of *Vigna s.* as source of flour given its high starch content. Moreover, they are both a relevant source of antioxidants, with a particularly high content of polyphenols. Due to the mounting evidence of several beneficial effects towards human health attributable to this class of compounds, it would be interesting to investigate, in the future, the specific phenolic compounds present in the plant as well as the best cooking techniques in order to preserve their characteristics.

REFERENCES

- Aboubakar Dandjouma, A. K. Amandes de Ricinodendron heudelotii (Bail.) Pierre ex Pax : étude des caractéristiques physico-chimique et de quelques conditions d'extraction de l'huile. Mémoire du Diplôme d'Etude Approfondies (DEA), Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agro Industrielles (ENSAI), Université de Ngaoundéré (Cameroun) **2000**
- Ahmed, G. M. and Abdallah A. A. M. Journal of Applied Sciences Research 2010, 6 (5): 383-386
- Apata, D.F., Ologhobo, A.D. Trypsin inhibitor and other anti-nutritional factors in tropical legume seeds. Tropical Science **1997**, 37(1): 52-59.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC) 2002. Official methods of analysis. Washington, USA: AOAC.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC) 1995. Official methods of analysis. Washington, USA: AOAC.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC) 1973. Official methods of analysis. Washington, USA: AOAC.
- Cheftel and Cheftel. Introduction à la biochimie et à la technologie alimentaire. Vol. 1. Lavoisier, Paris, **1977**, p.381
- Crozier, A.; Lean, M. E.; McDonald, M.S.; Black, C. Quantitative analysis of the flavonoid content of commercial tomatoes, onions, lettuce and celery. J. Agric. Food Chem. **1997**, 43, 590-595.
- FAO. Legume in human nutrition. FAO food and nutrition series n°19. Food and Agricultural Organisation. Rome **1964**, 115-116
- Fasoyiro, S.B., Ajibade, S.R., Omole, A.J., Adeniyani, O.N., Farinde, E.O. Proximate, mineral and anti-nutritional factors of some under-utilized grain legumes in South-West Nigeria. Nutritional Food Science **2006**, 38: 18-23
- Hilditch, T. P., and Riley, J.P. The use of low- temperature crystallisation in the determination of component acids of liquid fats. III. Fats which contain elaeostearic as well as linoleic and oleic acids. Journal of the Chemistry Society Industry, **1946**, 65: 74-81
- Kapseu, C., and Tchiégang, C. Chemical composition of Ricinodendron heudelotii Bail. Seed oil. Journal of Food Lipids, **1995**, 2: 87-88
- Linnemann A.R. And Azam-Ali S.N. Bambara groundnut (*Vigna subterranea*). In: Williams, J.T. (Editor). Puses and vegetables. Chapman and Hall, London. United Kingdom. Pp 13-58 (1993).
- 12 Odunfa S. A. African fermented food. In Wood B.J.B. (ed.) Microbiology of fermented foods. Amsterdam: Elsevier Applied Science Publishers, **1985**, pp. 155-191
- Mabderley, D. J. The plant-book. A portable Dictionary of the higher plants, Cambridge University press: Cambridge. United Kingdom **1987**, 607.
- Massawe, F.J., Mwale, S.S., Azam-Ali, S.N., Roberts, J.A. Breeding in bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdec): strategic considerations. African Journal of Biotechnology **2005**, Vol. 4 (6), pp.463-471
- Mazza, G., Miniati, E. Anthocyanins in fruits, vegetables and grains. XV Sunflower **1996**, 312-313.
- Mbofung, C.M. F., Gee, J.M., and Knight, D.J., Fatty acid profile of some Cameroonian spices. Journal of science of food and Agriculture **1994**, 66: 213-216
- Mosso, K., Kouadio, S., and Kouman, K.G. Utilisations alimentaires des amandes de Ricinodendron heudelotii ssp heudelotii en Côte d'Ivoire. In C. Kapseu, G.J. Kayem (Eds.), Actes du 2ème séminaire Safou, 3-4 décembre 1997 (pp. 325-341). Ngaoundéré (Cameroun) : Presse

Universitaire de Yaoundé1. 1998.

Moundipa, F.P., Tchana, A., Tchiégang, C., Chuisseu, D.D.O., Sitio, N.G.F., and Tchouanguep, M.F. Effets de la consommation des huiles végétales sur les lipids sanguins du rat. *Biosciences Proceedings (Cameroun)* **1998**, 5: 305-310

Oboh, G. and Akindahunsi, A.A. Biochemical changes in cassava products (flour & gari) subjected to *saccharomyces cerevisiae* solid fermentation. *Food Chemistry* **2003**, Vol. 82 n°4 p. 599-602

Oboh, G and Rocha, J.B.T. Polyphenols in red pepper [*Capsicum annum* var. *aviculare* (Tepin)] and their protective effect on some pro-oxidants induced lipid peroxidation in brain and liver. *European Food Research Technology* (In Press) **2006**.

Pellegrini, N.; Serafini, M.; Colombi, B.; Del Rio, D.; Salvatore, S.; Bianchi, M.; Brighenti, F. Total antioxidant capacity of plant foods, beverages and oils consumed in Italy assessed by three different in vitro assays. *J. Nutr.* 2003, 133, 2812-2819.

Pieraert, M. Contribution à l'étude chimique des noix de Sanga-Sanga ou *Ricinodendron africanum*. *Bulletin de l'agence des Colonies* **1917**, 10: 28-37

Taranathan R.N., and Mahadevammas. Grain Legumes a Boon to human nutrition. *Trends in Food Science and Technology* **2003**, 14: 507-518

Re, R. Pellegrini, N. Proteggente, A. Pannala, A. Yang, M. & Rice-Evans, C. Antioxidant activity applying and improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine* **1999**, 26: 1231-1237

Serpen, A. Gökmen V. Karagoz, A. and Kökbel, H. Phytochemical quantification and Total Antioxidant Capacities of Emmer (*Triticum dicoccon* Schrank) and Einkorn (*Triticum monococcum* L.) Wheat Landraces. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **2008**, 56 (16): 7285-7292

Swaminathan, M. In: *Essentials of food and nutrition*. Ganesh and Co. Madras **1974**, pp:158-276.

Tchiegang, C. Kapseu, C. Ndjouenkeu, R. et Ngassoum, M.B. Amandes de *Ricinodendron heudelotii* (Bail). Matière première Potentielle pour les industries Agro-alimentaires Tropicales. *Journal of Food Engineering* **1997**, 32: 1-10

Tiki Manga, T., Fondoun, J. M., Kengue, J., and Tchiégang, C. Chemical composition of *Ricinodendron heudelotii* : An indigenous fruit tree in southern Cameroun . *African Crop Science Journal* **2000**, 8:195-201

Tshiamala-Tshibangu, N., Ndjiba, J.D. Utilisations des produits forestiers autres que le bois (PFAB) au Cameroun : cas du projet forestier Mont Koupé. *Revue de Medicines et Pharmacopees Africaines* **1999**, 13: 19-32.

Vivien, J., Faure, J.J. *Arbres des forêts denses d'Afrique Centrale*. Paris. France: Agence de Coopération Culturelle et Technique **1985**

Chapitre 3

Antioxidant content of Ivorian Gnagnan (*Solanum indicum* L.) at different maturity stage

Denis N'Dri^{1*}, Luca Calani^{1*}, Teresa Mazzeo¹, Francesca Scazzina¹, Massimiliano Rinaldi², Daniele Del Rio¹, Nicoletta Pellegrini^{1**}, Furio Brighenti¹

¹Department of Public Health, University of Parma, via Volturno 39, 43125 Parma, Italy; E-Mail: E-Mail: ndri_denis@yahoo.fr (D.N.); luca.calani@nemo.unipr.it (L.C.); E-Mail: mazfer@libero.it (T.M.); E-Mail: francesca.scazzina@unipr.it (F.S.); E-Mail: daniele.delrio@unipr.it (D.D.); E-Mail: furio.brighenti@unipr.it (F.B.)

²Department of Industrial Engineering, University of Parma, viale GP Usberti 181/A, 43124 Parma, Italy; massimiliano.rinaldi@unipr.it

* these authors contributed equally to the work

** Author to whom correspondence should be addressed; E-mail: nicoletta.pellegrini@unipr.it; Tel.: ++39 0521 903907, Fax: ++39 0521 903832.

Abstract: Gnagnan (*Solanum indicum* L.) is a spontaneous plant widespread in Ivory Coast. During ripening stages, *Solanum indicum* L. shows different colours (green, yellow and red) and is reported to contain several antioxidant compounds, even though poorly characterized. This paper describes in detail the antioxidant profile (ascorbic acid, carotenoids and polyphenols), antioxidant capacity (FRAP test and Folin-Ciocalteu) and the colour changes of Gnagnan berries at different ripening levels. Ascorbic acid content was similar in green and yellow berries, but significantly lower in red ones. Red berries showed a higher content of carotenoids with respect to green and yellow ones. Regarding polyphenols, several phenolic acids and flavonoids were found in all berries. The content of caffeoylquinic acids, caffeic acid, flavonol glycosides and naringenin was higher in red berries, while the content of *p*-coumaric acid and feruloylquinic acids was similar among the three colours. The FRAP assay increased with the ripening process, whereas total polyphenols were similar among berries. Significant differences among products of different ripening degree were found for their colorimetric indexes.

The present results show the important role of the ripening stage in increasing the antioxidant content of Gnagnan berries.

Keywords: *Solanum indicum* L.; phytochemical compounds; total antioxidant capacity; colour; maturity stage.

1. Introduction

Solanum indicum L., identified also as “African nightshade” or “bitter berries”, is cultivated in many parts of Africa and Arabian Peninsula for culinary purposes. In Ivory Coast *Solanum indicum* L., with the local name of “Gnagnan” is consumed fresh or sun dried usually made as a soup alone or mixed with other vegetables.

During its ripening, similarly to tomato fruits, the Gnagnan assumes different colours, from green to yellow, and finally red. During the harvest period from July to October, local population eats the vegetable frequently because the product is fresh and savoury [1], even though little attention is paid on the degree of ripening. After this period, the dried berries are available on the markets, but fruits are not particularly appreciated because they become tasteless.

Traditionally *Solanum indicum* L. is also used as an herbal remedy for several diseases such as diarrhoea, malaria and prostate diseases. Despite these supposedly beneficial effects on human health, few scientific studies focused on *Solanum indicum* L. to assess its composition and demonstrate its health effects. In a *in vivo* study, Bahgat *et al.* [2] showed that the standardised extract of *Solanum indicum* L. containing more than 0.15% of chlorogenic acids prevents the development of hypertension in rats. Three studies on edible plants from Iran and India demonstrated that these berries had the highest content in phenolics compared to the other plant analysed [3-5].

Considering the scarce information available on the composition of Gnagnan, the purpose of this study was to characterize the antioxidant content of the berry at different stages of maturation. This characterisation will allow the definition of the optimal ripening degree at which this food should be consumed in order to introduce the highest amount of antioxidant phytochemicals.

2. Results and Discussion

2.1. Colour analysis

Images of the three ripening stages of *Solanum indicum* L. berries considered in this study are reported in Figure 1; the corresponding colorimetric indexes are presented in Table 1.

Figure1. *Solanum indicum* L. berries at different ripening stages (green, A; yellow, B; red, C).



Table 1. Colour indices of green, yellow and red *Solanum indicum* L. berries.

	Colourimeter ^a		
	L*	a*	b*
Green	44.1 ± 5.5b	-5.1 ± 3.4c	26.4 ± 8.4b
Yellow	48.8 ± 3.8a	28.5 ± 3.9b	40.9 ± 6.4a
Red	42.9 ± 2.2b	33.7 ± 3.5a	30.7 ± 30.6b
	Image analysis ^a		
Green	51.0 ± 6.3a	-20.1 ± 2.5b	51.8 ± 7.9ab
Yellow	49.5 ± 2.2ab	31.8 ± 8.9a	57.6 ± 2.1a
Red	40.1 ± 3.7b	41.0 ± 8.7a	44.7 ± 3.9b

^a Values are expressed in colorimetric units and presented as mean ± SD (n =10). Means in columns for each berry followed by different letters differed significantly ($p \leq 0.05$).

When berries are on the trees they spend 6-7 days and 1-2 days for turning from stage A to B and from stage B to C, respectively. On the contrary, once the berries are picked, ripening times become shorter: 2-3 days from A to B and 1 day from B to C. For this reason, a nutritional evaluation of the different ripening stages is needed in order to draw recommendations.

Significant differences among products of different ripening degree (A, B and C) were found for their colorimetric indexes. In particular, a* index, as previously reported for tomato berries, changed from negative (green colour) to positive (red colour) as a consequence of both chlorophyll degradation and lycopene synthesis [6]. Both data, from colorimeter and image analysis, discriminate ripening levels: in particular, image analysis could represent a cheap method for evaluating *Solanum indicum* L. ripening level.

2.2. Ascorbic acid

Ascorbic acid content of *Solanum indicum* L. at different ripening degrees was reported in Table 2: the ascorbic acid content was similar in green and yellow berries, but lower in red berries. Comparing the present data with other works on *Solanum* genus plants, tomatoes showed higher concentration of ascorbic acid with respect to all *Solanum indicum* L. berries analysed. For instance, ripe fruits of 12 tomatoes for fresh consumption and 15 processing cultivars had an ascorbic acid mean content of 17 mg/100 g [7], whereas cherry tomatoes grown in cold greenhouses and harvested at different times of the year showed a reduced ascorbic acid content from 16 to 44 mg/100 g [8]. Regarding the change of ascorbic acid content during ripening, the reduction observed in *Solanum indicum* L. was in agreement with previous data [9], where the maximum content was estimated in tomatoes that turned yellow in colour whereas advanced ripening caused a decrease in ascorbic acid content. This trend was likely due to the oxidative degradation of ascorbic acid, since the ripening cell absorbs high amounts of oxygen as a result of increasing rate of cell respiration, this representing the characteristic physiological change in climacteric fruits and

vegetables at ripeness [9].

Table 2. Ascorbic acid, α -carotene, β -carotene and lycopene content of *Solanum indicum* L. at different maturation stages.

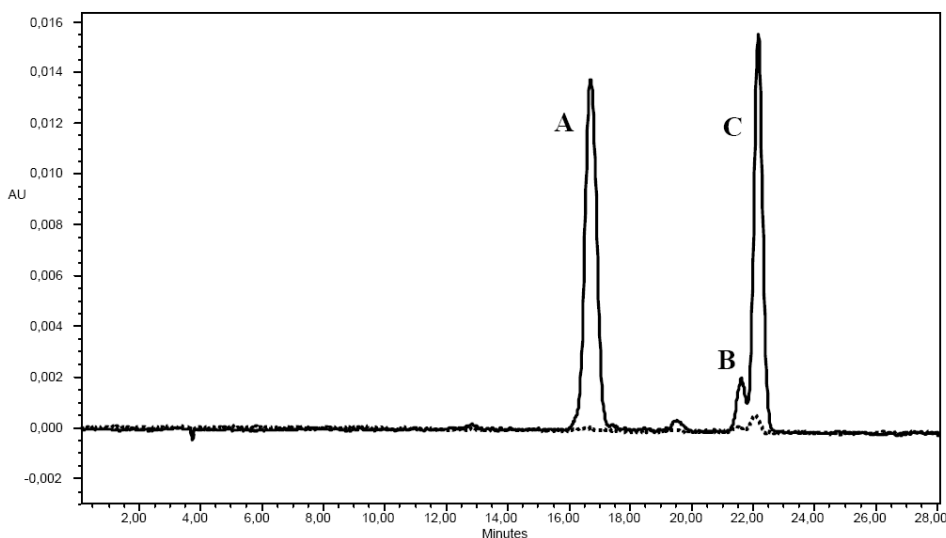
	Ascorbic acid	α -carotene*	β -carotene	lycopene
Green	8.46 \pm 0.81a	N.Q.	0.02 \pm 0.01a	N.D.
Yellow	8.54 \pm 0.28a	N.Q.	0.06 \pm 0.06a	N.D.
Red	6.67 \pm 0.32b	0.15 \pm 0.06	1.16 \pm 0.34b	1.84 \pm 0.52

Mean values \pm SD (n = 3) of mg/100 g of fresh weight. Means in columns for each berry followed by different letters differed significantly ($p \leq 0.05$). N.Q. not quantifiable; N.D. not detected; * quantification as β -carotene equivalents

2.3. Carotenoids

Carotenoids increased during ripening (Table 2). The concentration of carotenoids was much lower in green and yellow berries, in which lycopene was not detected and α -carotene was not quantifiable (Figure 2), than in red berries. As already demonstrated in tomato [10], the carotenoid content is involved in the colour change, reaching the maximum concentration when the fruit becomes bright red. Among carotenoids detected in berries of red colour, lycopene showed the highest concentration, as previously reported for tomato fruits in which lycopene is the most abundant carotenoid, representing approximately between 80 and 90% of total pigments [10, 11]. However, *Solanum indicum* L. at full ripeness showed a lycopene concentration at the bottom of the range shown for tomatoes, whose lycopene concentration has been reported to be highly variable ranging from 1.86 to 14.62 mg/100 g of fresh weight (FW) [12]. Conversely, the amount of β -carotene in full ripe *Solanum indicum* L. was higher than that reported in different tomato full ripe fruits [10, 11].

Figure 2. Chromatogram of carotenoids in red (—) and yellow (----) *Solanum indicum* L. A: lycopene; B: α -carotene; C: β -carotene.



Regarding β -carotene, its concentration was about 1.2 mg/100 g in the full ripe berries, increasing about 60 and 20 times with respect to green and yellow berries respectively. The β -carotene is a provitamin A and it can be converted into retinol in the intestine and other tissues [13]. Retinol is essential for general growth, visual function and embryonic development, as well as in epithelial tissues differentiation. In humans, the Recommended Dietary Allowance (RDA) of vitamin A is 900 and 700 $\mu\text{g/day}$ (expressed as retinol equivalents) for male and female adults, respectively, corresponding to 5400 $\mu\text{g/day}$ and 4200 $\mu\text{g/day}$ of β -carotene equivalents [14]. Considering the β -carotene content of *Solanum indicum* L., 100 g of product are able to warrant almost 30% of RDA. As the vitamin A deficiency is still a public health problem in the sub-Saharan Africa [15], the consumption of these berries represents a useful measure to prevent chronic deficiency of this vitamin. Moreover, this fruit is traditionally consumed cooked, and cooking procedures improve the nutritional value of *Solanaceae* as either β -carotene and lycopene bioavailability is higher in cooked or processed tomatoes than in raw ones [16, 17].

2.4. TAC and Total Polyphenols

In Table 3, TAC values measured by FRAP assay and the total polyphenols measured by Folin-Ciocalteu assay are reported. TAC values increased linearly with ripening, whereas total polyphenols were slightly higher in the yellow berries. Few works evaluated the total polyphenols of *Solanum indicum* L., probably because this vegetable is not consumed in the Western countries. Only three recent works have quantified phenolic compounds in some wild edible plants from India and Iran, including *Solanum indicum* L., finding 700 mg of total phenolics per 100 g of dry matter [3-5]. Considering that the average moisture content of *Solanum indicum* L. was approximately 80% (data not shown), the content of total polyphenols per 100 g on dry weight basis was almost 710 mg/100 g for yellow berries, in agreement with previous data [3-5]. Moreover, the content of

total phenolics is in agreement with previous data obtained in tomato, as Lenucci et al. [18] reported a total phenolic content ranging from 97 mg to 137 mg/100 g of fresh weight for cherry tomatoes.

Table 3. Total antioxidant capacity measured by FRAP and total phenol content of *Solanum indicum* L. at different maturation stages.

	FRAP *	Total polyphenols **
Green	0.58 ± 0.06a	102.09 ± 22.64a
Yellow	0.63 ± 0.05a	135.15 ± 47.04a
Red	0.88 ± 0.11b	123.48 ± 34.38a

Data expressed as mean values ± SD (n = 3);

* mmol Fe(II)/100 g of fresh weight; ** mg catechin

equivalents/100 g of fresh weight. Means in columns for each

berry followed by different letters differed significantly ($p \leq 0.05$).

Regarding TAC values, red berries showed a value of almost 0.9 mmol of FRAP per 100 g of fresh weight, higher than that previously reported for tomatoes. In fact, a recent study reported that the FRAP value ranged from 0.34 mmol/100g to 0.62 mmol/100g for cherry tomatoes [19] and Pellegrini *et al.* [20] reported a FRAP value equal to 0.51 mmol/100g for salad tomatoes. Such differences can be justified by the lower moisture content of *Solanum indicum* L. with respect to that of tomatoes that ranges from 93 to 94% [10, 21]. Furthermore, the round shape of *Solanum indicum* L. and its size (about 1 cm of diameter) increase the ratio between surface (skin) and fruit total weight, possibly explaining the higher TAC values with respect to tomato fruits [21].

It must also be pointed out that food matrixes are complex and antioxidant compounds may be present in different forms, hydrophilic and lipophilic, free, bound to other macromolecules as well as physically entrapped in cellular structure. Therefore they can be partly insoluble in specific solvents used during conventional extraction [22]. In *Solanum indicum* L., as reported for tomato [22], carotenoids are probably present in crystalline form deposited in chromoplasts and flavonoids are probably concentrated in the peel where they are physically entrapped in the pectin network. Therefore, as both antioxidant compounds are partly soluble in the solvents used for the TAC measurements, a slight underestimation of the FRAP value of the berries analysed cannot be excluded.

2.5. Phenolic compounds

Several phenolic acids as well as several flavonoids were identified in *Solanum indicum* L. berries by means of liquid chromatography–tandem mass spectrometry (Table 4). Figures 3 and 4 show the chromatograms of the main flavonoids and phenolic acids, respectively. Chlorogenic and hydroxycinnamic acids were the main phenolic acids, whereas several *O*-glycosylated flavonols and naringenin were quantified among flavonoids. Based on these results, *Solanum indicum* L. has a phenolic profile similar to that of tomato fruits [8, 10].

Table 4. Mass spectral characteristics of phenolics identified in *Solanum indicum* L. berries.

Phenolic acids		
Compound	[M-H]⁻ (m/z)	MS² ions (m/z)
<i>p</i> -Coumaric acid	163	119
Caffeic acid	179	135
Coumaroylquinic acids	337	191, 173, 163
Caffeoylquinic acids	353	191, 173, 179
Feruloylquinic acids	367	191, 173, 193

Flavonoids		
Compound	[M-H]⁻ (m/z)	MS² ions (m/z)
Naringenin	271	151
Quercetin*	301	151
Quercetin-3- <i>O</i> -glucoside	463	301
Kaemferol-glucoside	447	285
Quercetin-3- <i>O</i> -rutinoside	609	301
Kaemferol-rutinoside	593	285
Kaemferol-rhamnosylgalactoside*	593	285
Isorhamnetin-rutinoside	623	315

* Identified in red berries of *Solanum indicum* L.

Figure 3. HPLC-ESI-MS/MS chromatograms of main flavonoids in red *Solanum indicum* L..

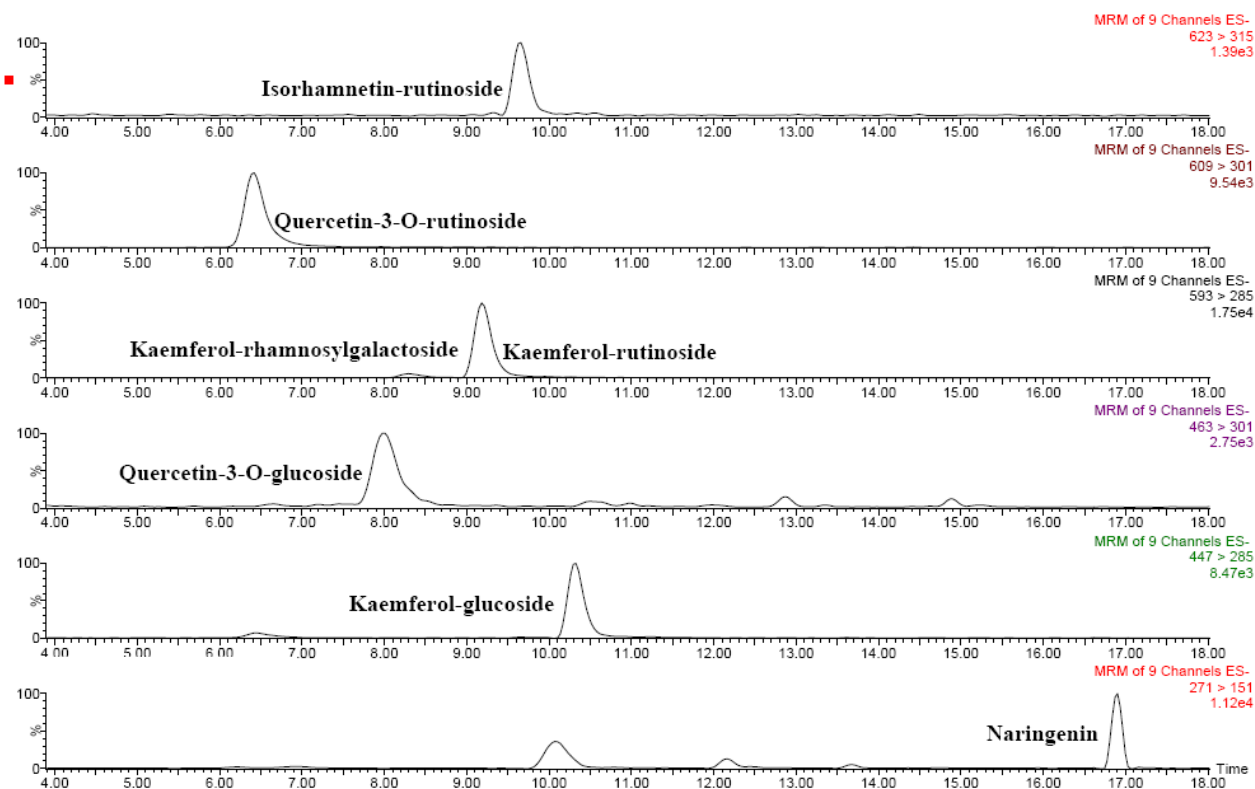


Figure 4. HPLC-ESI-MS/MS chromatograms of main phenolic acids in red *Solanum indicum* L..

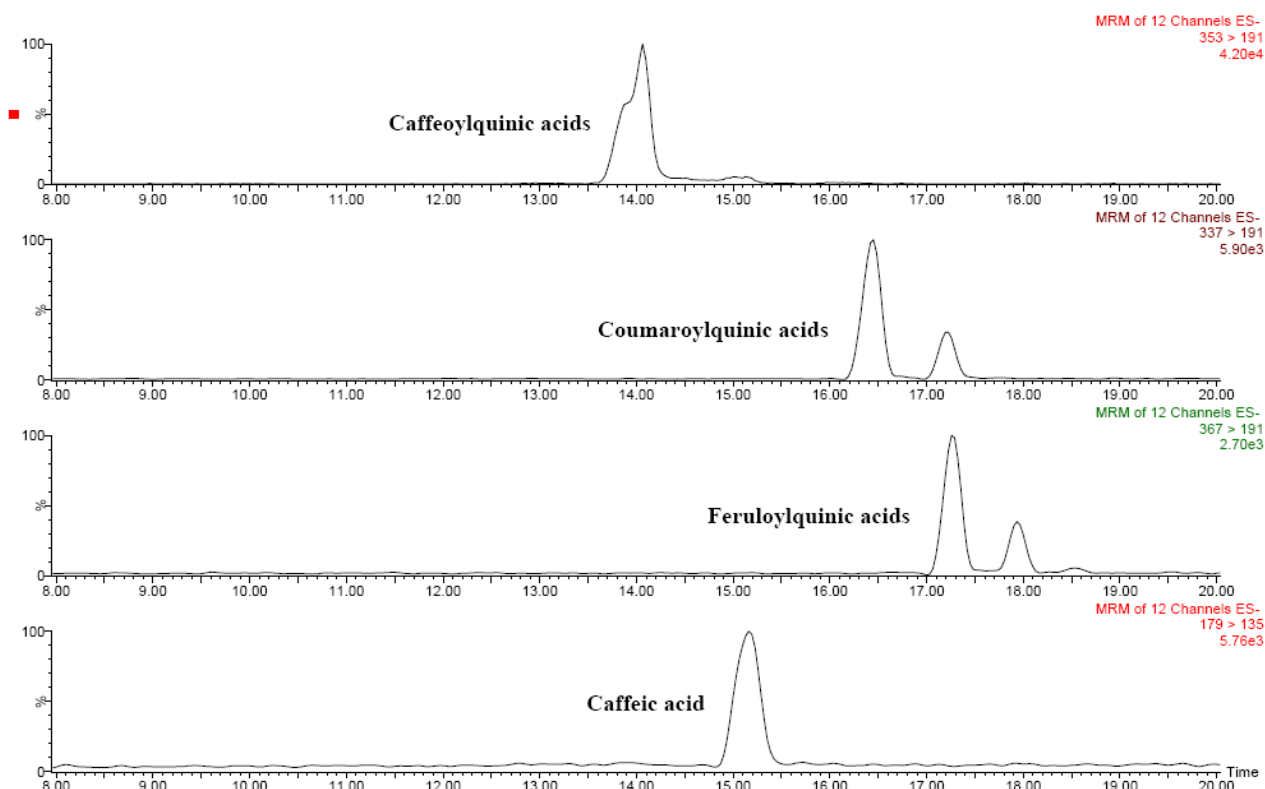


Table 5 shows the content of phenolics at different maturity degree of berries. Almost all the phenolic acids, but especially coumaroylquinic and caffeoylquinic acids, increased during the ripening progress. Similarly, quercetin-3-*O*-glucoside, quercetin-3-*O*-rutinoside (aka rutin) and kaempferol-3-*O*-rutinoside content of red *Solanum indicum* L. were about ten times higher than that of green and yellow berries, while the aglycone quercetin was identified exclusively in red berries, as well as the isorhamnetin-rutinoside. On the contrary, feruloylquinic and *p*-coumaric acids showed a constant content during the different ripening stages.

Table 5. Quantification of phenolic compounds in *Solanum indicum* L. berries at different ripening stages.

Phenolic acids						
	<i>p</i> -CoA	CA	CoQA	CQA	FQA	
Green	18.8 ± 0.7	2.0 ± 1.0	356.0 ± 26.4	932.3 ± 184.8	277.9 ± 11.2	
Yellow	19.2 ± 0.9	3.4 ± 0.3	348.4 ± 27.7	887.3 ± 42.4	246.8 ± 7.7	
Red	15.8 ± 1.1	18.9 ± 0.8	517.4 ± 34.4	5303.3 ± 523.6	250.2 ± 20.4	

Flavonoids						
	NAR	Q-3-Glu	K-Glu	Q-3-Rut	K-Rut	IR-Rut
Green	95.5 ± 16.3	38.6 ± 19.3	154.7 ± 8.5	422.4 ± 31.2	378.8 ± 4.5	NQ
Yellow	128.2 ± 18.5	36.0 ± 18.0	167.4 ± 13.3	311.3 ± 28.4	363.2 ± 22.4	NQ
Red	461.7 ± 71.7	386.8 ± 30.1	800.6 ± 32.3	3820.5 ± 215.1	5869.5 ± 321.2	440.9 ± 15.0

Data expressed as µg/100 g of fresh weight ± SE (n=3); N.Q.: not quantifiable

p-CoA: *p*-coumaric acid; CA: caffeic acid; CoQA: coumaroylquinic acids; CQA: caffeoylquinic acids; FQA: feruloylquinic acids; NAR: naringenin; Q-3-Glu: quercetin-3-*O*-glucoside; K-Glu: kaemferol-glucoside ; Q-3-Rut: quercetin-3-*O*-rutinoside; K-Rut: kaemferol-rutinoside; IR-Rut: isorhamnetin-rutinoside

The trend of phenolic compounds found in *Solanum indicum* L. during ripening was in disagreement with that reported for tomato phenolics, in which chlorogenic and caffeic acids as well as rutin and quercetin gradually decline with maturity progress [10]. However, the flavonoid content of full ripe tomatoes was similar to that of red *Solanum indicum* L. [8].

2.5. Factor Analysis

Data were submitted to factor analysis to identify associations between variables and their ability to discriminate the product at different levels of maturity. Nine variables were used and, among those, only colour values from image analysis were considered as it was proposed as a low-cost method for colour evaluation. Two factors were selected, according to the criteria of an eigenvalue of >1.0. The two factors accounted for 81% of total variance. After computation of a Varimax rotation, it was found that factor 1, with an eigenvalue of 5.20, represents 57.8% of overall variance, while factor 2, with an eigenvalue of 2.09, represents 23.2%.

Correlations among variables were also assessed and reported in Table 6.

Table 6. Pearson's linear correlation coefficients among *Solanum indicum* L. berries data^a.

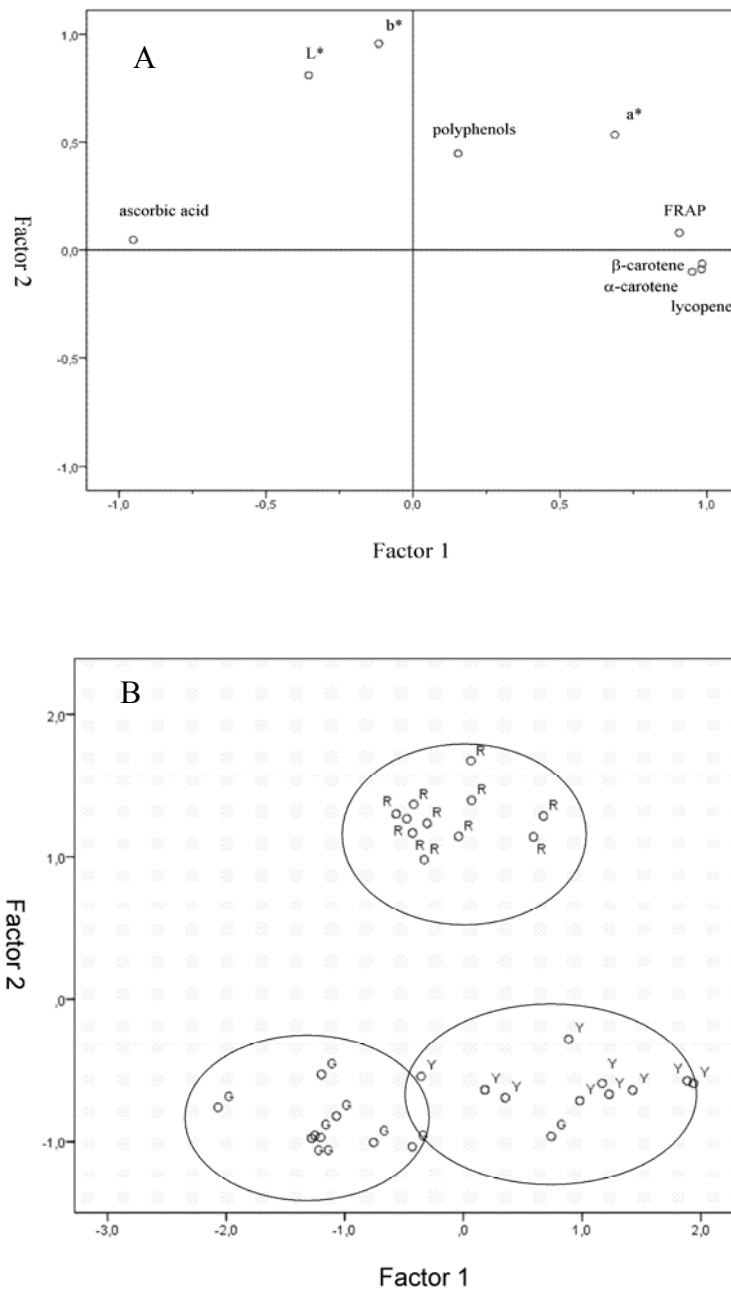
	FRAP	total phenols	α -carotene	β -carotene	lycopene	ascorbic acid	L*	a*	b*
FRAP	1.000								
polyphenols	0.068	1.000							
α -carotene	0.812**	0.136	1.000						
β -carotene	0.853**	0.074	0.937**	1.000					
lycopene	0.846**	0.073	0.938**	0.999**	1.000				
ascorbic acid	-0.833**	-0.032	-0.908**	-0.966**	-0.966	1.000			
L*	-0.239	0.057	-0.400*	-0.360	-0.381*	0.267	1.000		
a*	0.658**	0.355	0.538**	0.605**	0.585**	-0.537**	0.048	1.000	
b*	-0.017	0.259	-0.196	-0.159	-0.186	0.143	0.852**	0.396*	1.000

^a Values followed by * are significant at $P < 0.05$; values followed by ** are significant at $P < 0.01$.

FRAP values were highly and positively correlated with α -carotene, β -carotene, lycopene and also a* index that, as previously stated, represents the most useful colorimetric index for this kind of product. On the other hand, total polyphenol content was not correlated to any of the parameters considered and FRAP values were inversely correlated to ascorbic acid content.

Solanum indicum L. berries factor analysis biplots are reported in Figure 5. Factor 1 was strongly correlated directly to FRAP, α -carotene and β -carotene and lycopene content and inversely to ascorbic acid content. On the other hand, Factor 2 resulted correlated to colorimetric indexes L*, a* and b*.

Figure 5. Factor analysis biplots for Gnagnan maturity stage : (A) variables loadings; (B) score loadings.



Factorial analysis allowed obtaining a good separation of the different ripening stages (Figure 5B).

These results support also for *Solanum indicum* L. berries the common biology-based assessments of *Solanaceae* maturity and quality level, which is largely done by means of inspection systems or by the use of colour only.

3. Experimental

3.1. Chemicals

Ascorbic acid (AA) was purchased from Riedel-de Haën (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA). Potassium phosphate monobasic was purchased from Fluka (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA). Lycopene, trans- β -carotene, quercetin, rutin, quercetin-3-glucoside, naringenin, caffeic, *p*-coumaric and 3-caffeoylquinic acids, 2,4,6-tripyridyl-s-triazine (TPTZ), and 2,6-di-*tert*-butyl-*p*-cresol (BHT) were purchased from Sigma (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA). Oxalic acid was purchased from Merck (Darmstadt, Germany). *O*-phosphoric acid 88% (v/v) was purchased from BDH Chemicals LTD (Poole, England). All the solvents were purchased from Carlo Erba Reagents (Milan, Italy). All chemicals and solvents used were HPLC-grade and purchased from Carlo Erba (Milan, Italy) and from Merck (Darmstadt, Germany). High-purity water was produced in the laboratory by using an Alpha-Q system (Millipore, Marlborough, MA).

3.2. *Solanum indicum* L. fruits

The *Solanum indicum* L. berries came from Ivory Coast. All the fruits were purchased from a local market, collected at different ripening stages, with different colours (green, yellow and red) and stored at -80 °C prior to analysis.

3.3. Analysis

The analysis of reduced ascorbic acid were performed according to previously described methods [23, 24]. The determination of carotenoids was carried out by high-performance liquid chromatography (HPLC) analysis according to Leonardi *et al.* [25]. The phenolic compounds were extracted following the procedure described by Crozier *et al.* [26], and determined by the Folin–Ciocalteu assay [27]. The total antioxidant capacity (TAC) was determined as previously described by Pellegrini *et al.* [20]. Food extracts were immediately analyzed in triplicate for their antioxidant capacity by ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay [28]. FRAP values were expressed as millimoles of Fe²⁺ equivalents per 100 g of sample. All extracts were stored at -80 °C prior to analysis.

3.4. HPLC-DAD analysis

Either ascorbic acid and carotenoids were analyzed using a Hewlett Packard 1100 separation module equipped with a Waters 2996 Photodiode Array Detector (DAD), using a Waters 717 Plus autosampler, and a Millennium32 data processor (Waters, Milford, MA, USA). The ascorbic acid, lycopene and β -carotene content was quantified by the relative standard compound, whereas α -carotene was quantified as β -carotene equivalents.

3.5. HPLC-ESI-MS /MS analysis of phenolic compounds

Phenolic compounds were analysed using a Water 2695 Alliance separation module equipped with a Micromass Quattro Micro Api mass spectrometer fitted with an electrospray interface (ESI) (Waters, Milford, MA, USA). Separations were performed using a Waters Atlantis dC18 3 μm (2.1 x 150 mm) reverse phase column (Waters), with the mobile phase, pumped at a flow rate of 0.17 mL/min. We have generated two Multiple Reaction Monitoring (MRM) methods for identification of phenolic acids and flavonoids. For phenolic acid analysis, a capillary and cone voltages of 2.8 kV and 30 V, respectively, were used, while the collision energy was set at 20 eV. The analytes were eluted with a 15-min gradient of 5-30% acetonitrile in 1% aqueous formic acid, For flavonoid analysis, capillary and cone voltages were set at 2.8 kV and 35 V, respectively, and the collision energy was 30 eV. Flavonoids were eluted by means of a 10-min gradient of 20-40 % acetonitrile in 1 % aqueous formic acid.

For all MRM methods, the ESI source worked in negative mode, with a temperature of 120 °C, desolvation temperature of 350 °C, desolvation gas (N_2) 750 L/h, cone gas (N_2) 50 L/h, and the collision gas used was argon.

3-*O*-caffeoylquinic acid, *p*-coumaric acid, caffeic acid, naringenin, quercetin-3-*O*-rutinoside and quercetin-3-*O*-glucoside were all quantified by reference to standard calibration curves. The other cinnamoylquinic acids were quantified in caffeoylquinic acid equivalents monitoring the loss of cinnamoyl moiety with resulting ionization of quinic acid. Instead, the kaempferol-glucoside was quantified in quercetin-3-*O*-glucoside equivalents monitoring the loss of sugar moiety with resulting ionization of kaempferol, as well as flavonol-rutinosides were quantified in quercetin-3-*O*-rutinoside equivalents monitoring the loss of rutionosyl moiety with resulting ionization of the aglycone correspondents.

3.6. Colour determination

Colour determination was carried out by means of two different methods:

- colorimeter: colour determinations were carried out by means of a Minolta reflectance colorimeter (CM 2600d, Minolta Co., Osaka, Japan) equipped with a standard illuminant D65: L^* (lightness, black = 0, white = 100), a^* (redness > 0, greenness < 0), b^* (yellowness, b^* > 0, blue < 0) were quantified on each sample using a 2° position of the standard observer. The instrument was calibrated before each analysis with white and black standard tiles. A total of 10 determinations were performed for each sample.

- image analysis: samples were scanned by means of a desktop flatbed scanner (Hewlett Packard Scanjet 8200, Palo Alto, CA, USA) at 236 pixels per cm (600 dpi of resolution; true colour – 24 bit), equipped with a cold cathode lamp for reflective scanning. All images were scanned at the same conditions, by positioning on the scanner 10 samples: during image acquisition, the scanner was held in a black box, in order to exclude surrounding light and external reflections. Flatbed scanner colour was characterized and corrected as previously reported by Romani *et al.* [29].

3.7. Statistical Analysis

Means and standard deviations (SD) were calculated with SPSS (Version 17.0, SPSS Inc., Chicago,

Illinois, USA) statistical software.

SPSS was used to verify significant differences between colorimetric and antioxidant data by one-way-analysis of variance (ANOVA) followed by Tukey's honest significant difference test (HSD) at $p \leq 0.05$ to identify differences among groups.

A factor analysis was also performed by means of the same software on the Y-variable data set (physical and nutritional data) to determine if individual variables could be combined to define some underlying multivariate parameter. In factor analysis, linear combinations of the variables are successively computed to maximize overall variability followed by an axis rotation to facilitate interpretation as previously reported by Clément *et al.* [30]. The first factor explains the highest proportion of data set variability (eigenvalue), the second factor represents the second highest eigenvalue, and so on. Factors are new, independent variables (not correlated among themselves). A value (score) can be calculated for each ripening level on each factor. Factors having an eigenvalue of >1.0 were considered as being of interest for interpretation; they were selected, and a Varimax rotation was done to better distinguish which original variables are most correlated with each factor.

4. Conclusions

The present study is the first that fully characterized the antioxidant content and colour of *Solanum indicum* L. berries at different ripening stages. Based on the present results, Gnagnan berries should be consumed at full ripeness in order to benefit from the putatively bioactive molecules present in these *Solanaceae* fruits, such as carotenoids and phenolic compounds. The factorial analysis demonstrated that the ripening degrees of the berries are fully described by FRAP, α -carotene, β -carotene and lycopene content and colorimetric indexes (L^* , a^* and b^*). Moreover, this study demonstrated that by means of colour analysis or even only visual inspection it is possible to choose the best maturity stage of Gnagnan.

Considering the high content of antioxidants, *Solanum indicum* L. might be considered as an interesting food to improve the antioxidant status of people living in the sub-Saharan Africa, even though further studies are needed in order to understand the impact of various environmental conditions during the growing period and after harvest on the nutritional values of *Solanum indicum* L..

References

1. N'dri, M.T.K.; Gnahoua, M.G.; Konan, E.K.; Traoré, D. Plantes alimentaires spontanées de la région du Fromager (Centre Ouest de la Côte d'Ivoire) flore, habitats et organes consommés. *Sci. & Nat.* **2008**, *5*, 61-70.
2. Bahgat, A.; Abdel-Aziz, H.; Raafat, M.; Mahdy, A.; El-Khatib, A.S.; Ismail, A.; Khayyal, M.T. *Solanum indicum* ssp. *distichum* extract is effective against L-NAME-induced hypertension in rats. *Fundam. Clin. Pharmacol.* **2008**, *22*, 693-699.
3. Aberoumand, A.; Deokule, S.S.; Comparison of phenolic compounds of some edible plants of Iran and India. *Pak. J. Nutr.* **2008**, *7*, 582-585.
4. Aberoumand, A.; Deokule, S.S. Studies of nutritional values of some wild edible plants from Iran and India. *Pak. J. Nutr.* **2009**, *8*, 26-31.
5. Aberoumand, A.; Deokule, S.S. Total phenolic contents of some plant foods as antioxidant compound. *J. Food Technol.* **2010**, *8*, 131-133.
6. Lopez Camelo, A.F.; Gomez, P.A. Comparison of color indexes for tomato ripening. *Hortic. Bras.* **2004**, *22*, 534-537.
7. Abushita, A.A.; Daood, H.G.; Biacs, P.A. Change in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors. *J. Agric. Food Chem.* **2000**, *48*, 2075-2081.
8. Raffo, A.; La Malfa, G.; Fogliano, V.; Maiani, G.; Quaglia, G. Seasonal variations in antioxidant components of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* cv. Naomi F1). *J. Food Compos. Anal.* **2006**, *19*, 11-19.
9. Abushita, A.A.; Hebshi, E.A.; Daood, H.G.; Biacs, P.A. Determination of antioxidants vitamins in tomatoes. *Food Chem.* **1997**, *60*, 207-212.
10. Raffo, A.; Leonardi, C.; Fogliano, V.; Ambrosino, P.; Salucci, M.; Gennaro, L.; Bugianesi, R.; Giuffrida, F.; Quaglia, G. Nutritional value of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Cv. Naomi F1) harvested at different ripening stages. *J. Agric. Food Chem.* **2002**, *50*, 6550-6556.
11. Juroszek, P.; Lumpkin, H.M.; Yang, R.Y.; Ledesma, D.R.; Ma, C.H. Fruit quality and bioactive compounds with antioxidant activity of tomatoes grown on-farm: comparison of organic and conventional management systems. *J. Agric. Food Chem.* **2010**, *57*, 1188-1194.
12. Frusciante, L.; Carli, P.; Ercolano, M. R.; Pernice, R.; Di Matteo, A.; Fogliano, V.; Pellegrini, N. Antioxidant nutritional quality of tomato. *Mol. Nutr. Food Res.* **2007**, *51*, 609-617.
13. Tang, G. Bioconversion of dietary provitamin A carotenoids to vitamin A in humans. *Am. J. Clin. Nutr.* **2010**, *91*, 1468S-1473S.
14. Trumbo, P.; Yates, A.A.; Schlicker, S.; Poos, M. Dietary Reference Intakes for vitamin A, vitamin K, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium and zinc. *J. Am. Diet. Assoc.* **2001**, *101*, 294-301.
15. World Health Organization. Global prevalence of vitamin A deficiency in populations at risk 1995–2005: WHO global database on vitamin A deficiency. Geneva, Switzerland, 2009.
16. Livny, O.; Reifen, R.; Levy, I.; Madar, Z.; Faulks, R.; Southon, S.; Schwartz, B. Beta-carotene bioavailability from differently processed carrot meals in human ileostomy volunteers. *Eur. J. Nutr.* **2003**, *42*, 338-345.

17. Omoni, A.O.; Aluko, R.E. The anti-carcinogenic and anti-atherogenic effects of lycopene: a review. *Trends Food Sci. Tech.* **2005**, *16*, 344–350
18. Lenucci, M.S.; Cadinu, D.; Taurino, M.; Piro, G.; Dalessandro, G. Antioxidant composition in cherry and high-pigment tomato cultivars. *J. Agric. Food Chem.* **2006**, *54*, 2606-2613..
19. Carlsen, M.H.; Halvorsen, B.L.; Holte, K.; Bøhn, S.K.; Dragland, S.; Sampson, L.; Willey, C.; Senoo, H.; Umezono, Y.; Sanada, C.; Barikmo, I.; Berhe, N.; Willett, W.C.; Phillips, K.M.; Jacobs, D.R. Jr.; Blomhoff, R. The total antioxidant content of more than 3100 foods, beverages, spices, herbs and supplements used worldwide. *Nutr. J.* **2010**, *9*, 3.
20. Pellegrini, N.; Serafini, M.; Colombi, B.; Del Rio, D.; Salvatore, S.; Bianchi, M.; Brighenti, F. Total antioxidant capacity of plant foods, beverages and oils consumed in Italy assessed by three different in vitro assays. *J. Nutr.* **2003**, *133*, 2812-2819.
21. Scalfi, L.; Fogliano, V.; Pentangelo, A.; Graziani, G.; Giordano, I.; Ritieni, A. Antioxidant activity and general fruit characteristics in different ecotypes of *Corbarini* small tomatoes. *J. Agric. Food Chem.* **2000**, *48*, 1363-1366.
22. Gokmen, V; Serpen, A; Fogliano, V. Direct measurement of the total antioxidant capacity of foods: a Quencher approach. *Trends Food Sci. Tech.* **2009**, *20*, 278-288.
23. Dürüst, N.; Sümengen, D.; Dürüst, Y. Ascorbic acid and element contents of foods of Trabzon (Turkey). *J. Agric. Food Chem.* **1997**, *45*, 2085-2087.
24. Gökmen, V.; Kahraman, N.; Demir, N.; Acar, J. Enzymatically validated liquid chromatographic method for the determination of ascorbic and dehydroascorbic acids in fruit and vegetables. *J. Chromatogr. A* **2000**, *881*, 309-316.
25. Leonardi, C.; Ambrosino, P.; Esposito, F.; Fogliano, V. Antioxidative activity and carotenoid and tomatine contents in different typologies of fresh consumption tomatoes. *J. Agric. Food Chem.* **2000**, *48*, 4723-4727.
26. Crozier, A.; Lean, M. E.; McDonald, M.S.; Black, C. Quantitative analysis of the flavonoid content of commercial tomatoes, onions, lettuce and celery. *J. Agric. Food Chem.* **1997**, *43*, 590-595.
27. Singleton, V.L.; Rossi, J.A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Vitic.* **1965**, *16*, 144–158.
28. Benzie, I.F.; Strain, J.J. Ferric reducing/antioxidant power assay: direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration. *Methods. Enzymol.* **1999**, *299*, 15-27.
29. Romani, S., Rocculi, P., Mendoza, F., Dalla Rosa, M. Image characterization of potato chip appearance during frying. *J. Food Eng.* **2009**, *93*, 487-494.
30. Clément, A.; Dorais, M.; Vernon M. Multivariate approach to the measurement of tomato maturity and gustatory attributes and their rapid assessment by vis-nir spectroscopy. *J. Agric. Food Chem.* **2008**, *56*, 1538-1544.

Chapitre 4

EFFECT OF COOKING ON THE TOTAL ANTIOXIDANT CAPACITY AND PHENOLIC PROFILE OF SOME WHOLE-MEAL AFRICAN CEREALS.

ABSTRACT

In this study, the effect of a traditional cooking procedure on the phenolic profile, evaluated by LC/MS/MS, the total phenolic content, assessed by Folin-Ciocalteu assay, and the total antioxidant capacity, measured by two procedures, of the three African whole grains, sorghum (*Sorghum Guinea-bicolor*), fonio (*Digitaria exilis*) and pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.), was evaluated.

A significant increment of free phenolic acids was observed in sorghum and millet after cooking process, while in the case of fonio this treatment determined a slight but significant decrement of almost all the free phenolic acids. Conversely, cooking process negatively affected total phenol content, with a decrease of free and bound phenol compounds of grains analysed, which in turn could partly justify the TAC decrease observed with both analytic procedures used.

The present study demonstrates that the African whole grains analysed are a good source of antioxidant compounds, but cooking greatly reduce their TAC and total polyphenol content, even though a significant increase of some phenolic acids was observed. Furthermore, these cereals that do not contain gluten-forming proteins could be used in the formulation of new gluten free products to implement their antioxidant properties.

Keywords: whole grains; sorghum; millet; fonio; phenolic compounds; total antioxidant capacity.

INTRODUCTION

Research has shown that whole grain consumption helps to lower the risk of cardiovascular diseases, ischemic stroke, type II diabetes, metabolic syndrome, and gastrointestinal cancers (Jensen et al., 2004, Larsson et al., 2005, Montonen et al., 2003). In addition to dietary fibre, whole grain contain many health-promoting components such as vitamins, minerals, and phytochemicals which include phenolic compounds. Besides the potential health benefits some grains, including sorghum, fonio and millets, could be important for coeliac people, because they are gluten-free cereals (Taylor et al., 2006). Particularly in the developed countries, there is today a growing demand for gluten-free foods and beverages from people with coeliac disease and other intolerances to wheat, who cannot eat products made by wheat, barley, or rye (Taylor et al., 2006). Fonio, millet and sorghum are versatile grains that can probably be used in dozens of types of foods, including many that are quite unlike their traditional ones. These several major uses include the following: porridge and couscous, ground and mixed with other flours to make breads, popped, and brewed for beer (Vietnemeier et al., 1996).

Sorghum and millet grains can contain substantial levels of a wide range of phenolic compounds. Their health-promoting properties, in particular their antioxidant capacity, and their use as nutraceuticals and in functional foods are extensively reviewed by Dykes and Rooney (2006). However, grains are commonly cooked before being consumed. It is known that cooking induces significant changes in chemical composition, affecting the bioaccessibility and the concentration of nutrients and health-promoting compounds such as vitamin C, carotenoids, and polyphenols (Pellegrini et al., 2010). To date, there is limited information on the effect of processing on phenolic compounds and total antioxidant capacity (TAC) of cereals, especially minor ones (e.g., sorghum and millet). Dlamini et al. (2007) determined the effect of different processing technologies of traditional sorghum foods on total phenols, tannin content and antioxidant capacity demonstrating that processing generally decreased total phenols and antioxidant capacity, even though conventionally cooked porridges had higher TAC than the extrusion cooked products. Towo et al. (2003) investigated the effect of different treatments (e.g., soaking in water at different pHs, germination, and cooking) on the content of different phenolic groups in cereal grains, including two varieties of sorghum and millet, and leguminous pulses cultivated in Tanzania. The study demonstrated that cooking was more effective in reducing total phenolics in cereals than germination and water soaking, because likely some phenolic compounds may enter into the endosperm where they may form strong complexes with macromolecules such as endosperm proteins, which might render them less extractable in the assay procedure as well as being degraded by the heat treatment. In addition, it has been demonstrated that during the baking of brown

sorghum products the degree of interaction of procyanidins with food macromolecules (i.e., proteins and carbohydrates) increases with the degree of polymerization of the procyanidins (Awika et al, 2003), whereas in extruded products a very significant increase in the levels of DP1-DP4 procyanidins was reported suggesting a cleavage of the higher DP procyanidins into lower DP constituents during extrusion.

Considering the lacking information available in literature on the effect of cooking on phenolic profile and total antioxidant capacity of these grains, the purpose of this study was to investigate the effect of a traditional cooking procedure on the phenolic profile and total antioxidant capacity of the three gluten-free African whole grains: sorghum (*Sorghum Guinea-bicolor*), fonio (*Digitaria exilis*) and pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.).

MATERIALS AND METHODS

Materials

The following whole meal grains were analysed: a white non-pigmented testa variety of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L. var PVNE), a traditional non-pigmented testa variety of sorghum (*Sorghum Guinea-bicolor* var NWS 27B), consisted of mixed red, white and black pigmented pericarp grains, and a fonio local white variety (*Digitaria exilis*). The grains were grown in 2008 and originated from Ivory Coast.

Samples were ground by using Waring blender Model 5011 and were consecutively passed through a sieve having mesh size up to 140.

Chemicals

All chemicals and solvents were of analytical grade. Cellulose (powder from spruce) was purchased from Fluka Chemie AG (Buchs, Switzerland). Sodium hydroxide and citric acid were purchased from Merck (Darmstadt, Germany), ethanol and ethyl acetate from Carlo Erba (Italy). 2,2'-azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) was from Fluka (St. Louis, MO), 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid (Trolox), chlorogenic acid, caffeic acid, *p*-coumaric acid, ferulic acid, sinapic acid, and potassium persulfate (di-potassium peroxodisulfate) were obtained from Sigma-Aldrich (Steinheim, Germany). Ultra pure water was used throughout the experiments (MilliQ system, Millipore, Bedford, MA, USA).

Cooking treatments

Cooking condition applied tentatively reproduces that utilized in Ivory Coast for cereals. Briefly, 1 g of ground cereals was weighted into a 10 mL glass tube. The tube was inserted in a bath at 100 °C, added with 3 mL of boiling tap water and covered. Every 5 min the tube was stirred by mean of a vortex mixer. Cooking time, measured when the water in the tube started again to boil, was 21

min for fonio, 15 min for millet and 12 min for sorghum. Cooked cereals were cooled by means of an ice bath for 5 min.

Dry matter determination

For the determination of the moisture, 3–4 g of uncooked or cooked homogenized sample (as triplicate) was dried in a convection oven at 105 °C for at least 16 h until reaching constant weight.

Extraction procedure for the determination of total phenolic content and TAC

The following extraction procedure was carried out to determine the total phenolic content and the TAC of samples. For the preparation of free soluble extracts, a precisely weighed amount of milled sample (100 mg and 300 mg for uncooked or cooked cereal, respectively) was extracted 3 times with 1.7 mL of water by mixing for 2 min in a vortex mixer. Each extraction step was followed by a centrifugation at 9200 x g for 5 min. Combined clear supernatants were used for antioxidant capacity measurement. The extraction was repeated three times with 1.7 mL of ethanol and the supernatants were combined. The extraction residue was further used to extract the bound phenolic compounds. For this purpose, the residue was digested with 1.5 mL of 2 M sodium hydroxide at room temperature for 1 h with shaking under nitrogen gas. After alkaline hydrolysis, the pH of the mixture was adjusted to 3 by adding 1.35 M citric acid and samples were centrifuged at 9200 x g for 5 min. The supernatant was extracted 3 times with 3.75 mL of ethyl acetate. The ethyl acetate extracts were combined and evaporated to dryness under a gentle stream of nitrogen at room temperature. The residue was dissolved in a mixture of methanol:water (50:50, v/v). Free and bound extracts were kept at 4 °C at dark prior to the analysis.

Determination of total phenolic content

The total phenolic content of each extract was determined using the method previously described by Adom et al., (2002). Briefly, the extracts were oxidized with Folin-Ciocalteu reagent, and the reaction was neutralized with sodium carbonate. The absorbance of the resulting blue color was measured at 760 nm. Data are expressed as mg catechin equivalents/100 g.

Determination of TAC

Two procedures were applied to measure total antioxidant capacities of cereal samples; (i) extraction / hydrolysis procedure and direct procedure (ii). The details of these procedures are as follows;

(i) *Extraction / hydrolysis procedure.* Extracts obtained as above described were analysed in triplicate for their antioxidant capacity by Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) assay by the means of its flow injection system version (Pellegrini et al., 2003).

(ii) *Direct procedure.* Direct measurement was based on the procedure described by us elsewhere (Serpen et al., 2008). Ten mg of ground uncooked sample and 30 mg of cooked sample was

transferred to a centrifuge tube. All uncooked samples were initially diluted with cellulose powder (1:10, w:w), which was found inert toward the ABTS reagent in the assay conditions below described, in order to allow weighing 10 mg, thus ensuring good reproducibility, for such samples with high antioxidant capacity, as previous suggested (Serpen et al., 2008). The reaction was started by adding 6 mL of ABTS reagent previously prepared by reacting a 7 mmol/L aqueous solution of ABTS with 2.45 mmol/L potassium persulfate (Re et al., 1999) and further dissolved in the mixture of ethanol:water (50:50, v/v). The tube was placed in an orbital shaker and the mixture was rigorously shaken until centrifugation to facilitate a surface reaction between the solid particles and the ABTS reagent. After centrifugation at 9200 x g for 2 min, optically clear supernatant was separated and absorbance measurement was performed at 734 nm exactly after 30 min.

For both determinations, the antioxidant capacity was expressed as mmol of Trolox per 100 g of sample by means of a dose-response curve.

Determination of phenolic acids

For the analyses of phenolic acids, the samples were previously freeze-dried utilizing a Brizzio-Basi instrument (Naples, Italy). Dried sample material was finely ground, kept in sealed bags, and stored at -20°C .

The phenolic acids were extracted from grains in two separate fractions (soluble free and bound) according to a procedure published by Li et al. (2008). Phenolic acids were analysed by LC/MS/MS as previously described (Costabile et al., 2008).

Statistical analysis. Means and standard deviations (SD) of data were calculated with SPSS (Version 17.0, SPSS Inc., Chicago, IL) statistical software. SPSS was used to perform one-way analysis of variance (ANOVA) and a least significant difference (LSD) test at a 95 per cent confidence level ($p \leq 0.05$) to identify differences among groups.

RESULTS AND DISCUSSION

In the following paragraphs, the effect of cooking treatment on phenolic profile, total phenolic content and total antioxidant capacity of grains analysed are separately presented.

Phenolic acids. Free and bound phenolic acids were evaluated in raw fonio, sorghum and millet. Data are reported on fresh weight basis in Table 1. Millet showed the highest free and bound phenolic acid content, followed by sorghum and fonio. In all the grains analysed phenolic acids are present mostly in bound form with ferulic acid being dominant. The amount and the type of bound phenolic acids present in the sorghum analysed were fairly in agreement with the data of Hahn et al (1983), who analysed different sorghum varieties. In addition, in agreement with our data on bound phenolic acids of pearl millet, Subba Rao and Muralikrishna (2002), analysing a finger millet, found

ferulic acid being the major bound phenolic acid. The composition of free phenolic acids varied most across the three cereals: the predominant component in the fonio and sorghum being gallic acid, while in the millet being *p*-coumaric acid along with gallic. Likely due to the varietal difference, data on free phenolic acids of millet are in disagreement to Subba Rao and Muralikrishna (2002), who found in a finger millet that phenolic acids were present mostly in free form (71%) with protocatechuic acid being the major free phenolic acid. Similarly, the gallic acid presence in the free phenolic acids of the sorghum variety analysed disagreed with the lack of gallic acid in free form among the sorghum varieties analysed by Hahn et al (1983).

The effect of cooking on free phenolic acid content of the three cereals analysed is reported on dry weight basis in Table 2. Cooking process determined a significant increment of these compounds in sorghum and millet, while in the case of fonio a slight but significant decrement of total free phenolic acids was observed. In particular, this decrease is mainly due to the loss of three phenolic acids: protocatechuic acid (83 per cent), caffeic acid (75 per cent) and gallic acid (29 per cent). Conversely, after cooking process a slight but significant increase of chlorogenic and ferulic acids was observed, whereas all the other phenolic compounds remain largely stable. In millet, heating process determined a slight but significant ($p < 0.05$) increase of all free phenolic acids except for vanillic acid, which was not affected by the process, and for caffeic acid that decreased (about 75 per cent). In particular, the increase of phenolic acids was mainly evident for chlorogenic, gallic and protocatechuic acids (two-fold higher than in raw millet) and ferulic acid (51 per cent). Similarly to that found for free phenolic acids, cooking process influenced positively all bound phenolic acids of millet (Table 3) except for gallic acid and protocatechuic acids that decreased significantly (38 per cent and 30 per cent, respectively). The highest increase was observed for chlorogenic acid (two-fold higher than that found in the raw millet) followed by sinapic acid (71 per cent) and *p*-coumaric acid (41 per cent). Such as for the millet, in sorghum, the cooking treatment resulted in an increase of all free phenolic acids. Chlorogenic, vanillic, *p*-coumaric and gallic acids were the compounds for whom a major increase with cooking process was observed. To our knowledge, information regarding the effect of cooking process on phenolic acids present in fonio, sorghum and millet is lacking and only few studies have investigated the effect of cooking on phenolic profile of cereals. The observed increase of phenolic acids in millet and in sorghum after cooking process could indicate that this treatment was able to disrupt the (covalently or not) interaction of these acids with the various cell wall components such as arabinoxylans and proteins. Likewise, Ranilla et al. (2009), who evaluated the effect of different cooking conditions such as soaking, atmospheric (100°C) or pressure boiling (121°C) on phenolic compounds of some selected Brazilian bean cultivars, explained the significant observed increase of free ferulic and *p*-coumaric acids content by

the hydrolysis of conjugated phenolic compounds.

Total phenolic content. Table 4 reported on dry weight basis free, bound and total phenol content of fonio, millet and sorghum before and after cooking process. Bound phenolic compounds contribute the highest proportion of the total phenolic content in the raw grains analysed. Accordingly to that found in the case of phenolic acids, raw millet was the cereal that detected the major free and bound phenol compounds followed by sorghum and fonio.

The amount of total phenol compounds determined in raw millet and fonio analysed was higher than that described by Dykes et al. (2006) in a pearl millet (190-330 mg/100g of dry weight) and a fonio variety (140 mg/100g of dry weight). Such different content of polyphenols could be due to the varietal difference, as each variety of millet has a different distribution of phenolics in the endosperm and bran fraction, as observed by Dykes et al. (2006). The amount of total phenolic compounds of sorghum analysed was in general agreement with data on total phenolic content of a red non-pigmented testa sorghum variety (NK 283) analysed by Dlamini et al. (2007) (530 mg/100g of dry weight).

Conversely to the positive and significant influence of heating process on phenolic acids, cooking treatment affected total phenol content, with a decrease of free and bound phenol compounds of grains analysed. In fact, after cooking process a significant decrease of total phenol content of about 8 per cent for fonio, 46 per cent for millet and 45 per cent for sorghum was observed. In particular, the cooking process mainly affected the bound phenol compounds of millet and sorghum with losses of 53 per cent and 45 per cent, respectively, whereas less influence had on those of fonio. A strong effect of boiling on total phenolics of finger millet and sorghum has been already reported in a study (Towo et al., 2003) whereby total phenolics of finger millet was retained about 60 per cent, while in red sorghum the reduction was higher (about 80 per cent). Regarding free phenol compounds the heating treatment determined a major loss in the sorghum (48 per cent) followed by millet and fonio (17.5 per cent).

The detrimental effect of cooking process on total (free and bound) phenolic compounds observed in all the grains analysed might be linked, especially in the case of millet and sorghum, to the content of flavonoids. It has been reported that these cereals contain also flavonoids along with phenolic acids. In particular, millet and fonio contain flavones (Sartelet et al, 1996; Dykes et al, 2006), whereas the pigmented pericarp sorghum varieties have also flavanones, and 3-deoxyanthocyanins, unique anthocyanins without the hydroxyl group in the 3-position of the C-ring (Awika et al, 2004; Dykes et al, 2006). These classes of phenolic compounds are highly susceptible to heating effect (Manach et al., 2004), and that could partially explain the strong reduction of total polyphenols observed after the cooking of grains, even though a significant increase of phenolic

acid content was measured. In addition, it has been suggested that some of the phenolic compounds may enter into the endosperm with the imbibed water during cooking process (Towo et al., 2003) and may form strong complexes with macromolecules such as endosperm proteins and carbohydrates, which might render them less extractable in the assay procedure.

Total antioxidant capacity. The TAC values of three cereals measured by the extraction/hydrolysis and the direct procedures were reported in Table 5 and 6, respectively. As already shown and discussed (Serpen et al, 2008), the TAC values obtained by the direct procedure had higher than those obtained by the extraction/hydrolysis procedure. Raw millet, fonio and sorghum analysed using both procedures showed similar TAC values, although millet had the highest value, followed by sorghum and fonio. Such similar TAC values are quite surprisingly as the grains analysed showed different contents of phenolic acids (Table 1) and total polyphenols (Table 2). However, the good accordance between two methods supports the present TAC data. The TAC values of raw millet and sorghum analysed in the present study are in disagreement with Ragae et al. (2006), who found a higher TAC values in millet and sorghum grains. These differences could be due to bioactive substances occur in grains at different concentration depending upon genotypes and phenotypes (Ragae et al., 2006).

After cooking treatment, the TAC values of the three grains analysed by the extraction/hydrolysis procedure were significantly ($p < 0.05$) reduced of about 59 per cent, 46 per cent and 51 per cent for fonio, millet and sorghum, respectively. In all the grains analysed, a higher TAC reduction was observed in the soluble fraction (i.e., water and ethanol fractions) than in the bound one. High percentages of TAC values reduction were also shown when values were measured by the direct procedure (Table 6). Our results are in agreement with Finocchiaro et al. (2007) who determined the effect of water and risotto cooking on total antioxidant capacity of red and white rice showing by both heating treatments a significant loss of TAC value. A detrimental effect of heating processes on TAC values was reported also in different varieties of sorghum where extrusion cooking significantly reduced TAC by up to 86% (Dlamini et al, 2007). As stated by the authors, this was probably due to the changes occurred during the processing that affected the extraction of total polyphenols and tannins and involved associations between these compounds and proteins and other compounds in the grains.

The significant decrease of total phenolic compounds observed after heating treatment might partly justify the TAC decrease measured by both the analytic procedures used. However, in future it would interesting to characterise the main phytochemical compounds of these whole grain in order to investigate which other antioxidant compounds along with polyphenols have influenced the TAC values.

CONCLUSION

The present study demonstrates that the African whole grains analysed are a good source of antioxidant compounds, but cooking greatly reduce their TAC and total polyphenol content, even though a significant increase of some phenolic acids was observed. Furthermore, these cereals that do not contain gluten-forming proteins could be used in the formulation of new gluten free products to implement their antioxidant properties.

REFERENCES

- Adom, K.K., Liu, R.H., 2002. Antioxidant activity of grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50, 6182-6187.
- Awika, J.M., Dykes, L., Gu, L., Rooney, L.W., Prior, R.L., 2003. Processing of sorghum (*Sorghum bicolor*) and sorghum products alters procyanidin oligomer and polymer distribution and content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51, 5516-5521.
- Awika, J.M., Rooney, L.W., 2004. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry* 65, 1199-1221.
- Costabile, A., Klinder, A., Fava, F., Napolitano, A., Fogliano, V., Leonardi, C., 2008. Whole grain wheat breakfast cereal has a prebiotic effect on the human gut microbiota: a double-blind, placebo-controlled, crossover study. *British Journal of Nutrition* 99, 110-120.
- Dlamini, N.R., Taylor, J.R.N., Rooney, L.W., 2007. The effect of sorghum type and processing on the antioxidant properties of African sorghum-based foods. *Food Chemistry* 105, 1412-1419.
- Dykes, L., Rooney, L.W., 2006. Sorghum and millet phenols and antioxidant. *Journal of Cereal Science* 44, 236-251.
- Finocchiaro, F., Ferrari, B., Gianinetti, A., Dall'Asta, C., Galaverna, G., Scazzina, F., Pellegrini, N., 2007. Characterization of antioxidant compounds of red and white rice and changes in total antioxidant capacity during processing. *Molecular Nutrition and Food Research* 51, 1006-1019.
- Hahn, D.H., Faubion, J.M., Rooney, L.W., 1983. Sorghum phenolic acids, their high performance liquid chromatography separation and their relation to fungal resistance. *Cereal Chemistry* 60, 255-259.
- Jensen, M.K., Koh-Banerjee, P.K., Hu, F.B., Sampson, L., Gronbaek, M., Rimm, E.B., 2004. Intakes of whole grains, bran, and germ and the risk of coronary heart disease in men. *The American Journal of Clinical Nutrition* 80, 1492-1499.
- Larsson, S.C., Giovannucci, E., Bergkvist, L., Wolk, A., 2005. Whole grain consumption and risk of colorectal cancer: a population-based cohort of 60 000 women. *British Journal of Cancer* 92, 1803-1807.
- Li, L., Shewry, P.R., Ward, J.L., 2008. Phenolic acids in wheat varieties in the healthgrain diversity screen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56, 9732-9739.
- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., Jiménez, L., 2004. Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition* 79, 727-747.
- Montonen, J., Knekt, P., Jarvinen, R., Aromaa, A., Reunanen, A., 2003. Whole-grain and fiber intake and the incidence of type 2 diabetes. *The American Journal of Clinical Nutrition* 77, 622-629.

- Pellegrini, N., Chiavaro, E., Gardana, C., Mazzeo, T., Contino, D., Gallo, M., Riso P., Fogliano, V., Porrini, M., 2010. Effect of different cooking methods on color, phytochemical concentration, and antioxidant capacity of raw and frozen *Brassica* vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58, 4310-4321.
- Pellegrini, N., Del Rio, D., Colombi, B., Bianchi, M., Brighenti, F., 2003. Total antioxidant capacity of plants foods, beverages and oil consumed in Italy assessed by three different in vitro assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51, 260-264.
- Ragaee, S., Abdel-Aal, E.M., Noaman, M., 2006. Antioxidant activity and nutrient composition of selected cereals for food use. *Food Chemistry* 98, 32-38.
- Ranilla, L.G., Genovese, M.I., Lajolo, F.M., 2009. Effect of different cooking conditions on phenolic compounds and antioxidant capacity of some selected Brazilian bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57, 5734-5742.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C., 1999. Antioxidant capacity applying an improvement ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine* 26, 1231-1237.
- Sartelet, H., Serghat, S., Lobstein, A., Ingebleek, Y., Anton, R., Petitfrere, E., Aguié-Aguie, G., Martiny, L., Haye, B., 1996. Flavonoids extracted from *Fonio* millet (*Digitaria exilis*) reveal potent antithyroid properties. *Nutrition* 12, 100-106.
- Serpen, A., Gökmen, V., Pellegrini, N., Fogliano, V., 2008. Direct measurement of the total antioxidant capacity of cereal products. *Journal of Cereal Science* 48, 816-820.
- Subba Rao, M.V.S.S.T., Muralikrishna, G., 2002. Evaluation of the antioxidant properties of free and bound phenolic acids from native and malted finger millet (Ragi, *Eleusine coracana* Indaf- 15). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50, 889-892.
- Taylor, J.R.N., Schober, T.J., Bean, S.R., 2006. Novel food and non-food uses for sorghum and millets. *Journal of Cereal Science* 44, 252-271.
- Towo, E.E., Svanberg, U., Ndossi, G.D., 2003. Effect of grain pre-treatment on different extractable phenolic groups in cereals and legumes commonly consumed in Tanzania. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83, 980–986.
- Vietnemeier, N.D., Borlaugh, N.E., Axtell, J., Burton, G.W., Harlan, J.R., Racie, K.O., 1996. 'Fonio', 'Finger millet', 'Sorghum'. In: *Lost Crops of Africa vol.1. Grains*. BOSTID Publications, National Academic Press, New York.

Table 1. Phenolic acid content of raw cereals analysed^A.

	<i>fonio</i>		<i>millet</i>		<i>sorghum</i>	
	free	bound	free	bound	free	bound
Chlorogenic acid	0.09 ± 0.03	0.00 ± 0.00	0.25 ± 0.01	0.22 ± 0.00	0.12 ± 0.00	0.51 ± 0.00
Caffeic acid	0.10 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.14 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.55 ± 0.03	0.20 ± 0.06
Vanillic acid	0.12 ± 0.01	0.32 ± 0.01	0.52 ± 0.07	0.88 ± 0.09	0.37 ± 0.00	0.56 ± 0.05
<i>p</i> -Coumaric acid	0.07 ± 0.00	1.44 ± 0.08	3.01 ± 0.10	0.68 ± 0.02	0.18 ± 0.19	7.01 ± 0.00
Sinapinic acid	0.02 ± 0.00	1.25 ± 0.01	0.00 ± 0.00	0.75 ± 0.05	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
Ferulic acid	0.19 ± 0.00	6.34 ± 0.13	0.67 ± 0.00	40.79 ± 0.20	0.36 ± 0.01	28.12 ± 0.07
Gallic acid	0.39 ± 0.04	0.67 ± 0.01	1.97 ± 0.02	0.22 ± 0.01	0.63 ± 0.00	0.49 ± 0.02
Protocatechuic acid	0.37 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.04 ± 0.02	1.07 ± 0.02	0.48 ± 0.01	0.79 ± 0.00
<i>Total phenols</i>	<i>1.35 ± 0.02</i>	<i>10.02 ± 0.22</i>	<i>6.58 ± 0.15</i>	<i>44.61 ± 0.06</i>	<i>2.70 ± 0.03</i>	<i>37.67 ± 0.15</i>

^AValues are presented as mean value ± SD (n=3) and expressed as mg/100g of fresh weight.

Table 2. Free phenolic acid content of raw and boiled cereals analysed^A.

	<i>fonio</i>		<i>millet</i>		<i>sorghum</i>	
	raw	boiled	raw	boiled	raw	boiled
Chlorogenic acid	0.10 ± 0.03 b	0.16 ± 0.00 a	0.27 ± 0.01 b	0.45 ± 0.02 a	0.14 ± 0.00 b	0.66 ± 0.01 a
Caffeic acid	0.12 ± 0.00 a	0.03 ± 0.00 b	0.15 ± 0.00 a	0.12 ± 0.00 b	0.61 ± 0.03 b	0.97 ± 0.12 a
Vanillic acid	0.13 ± 0.01 a	0.12 ± 0.10 a	0.58 ± 0.08 a	0.46 ± 0.01a	0.41 ± 0.00 b	1.09 ± 0.21 a
<i>p</i> -Coumaric acid	0.08 ± 0.00 a	0.09 ± 0.00 a	3.37 ± 0.11 b	3.80 ± 0.11 a	0.20 ± 0.01 b	0.45 ± 0.00 a
Sinapinic acid	0.03 ± 0.00 a	0.04 ± 0.00 a	0.00 ± 0.00 b	0.05 ± 0.02 a	0.00 ± 0.00 a	0.03 ± 0.00 a
Ferulic acid	0.22 ± 0.00 b	0.25 ± 0.00 a	0.75 ± 0.00 b	1.13 ± 0.02 a	0.40 ± 0.01 b	0.50 ± 0.01 a
Gallic acid	0.45 ± 0.05 a	0.32 ± 0.06 b	2.21 ± 0.02 b	4.44 ± 0.00 a	0.70 ± 0.00 b	1.67 ± 0.11 a
Protocatechuic acid	0.41 ± 0.00 a	0.07 ± 0.00 b	0.04 ± 0.03 b	0.10 ± 0.01 a	0.54 ± 0.01 b	0.74 ± 0.07 a
<i>Total phenols</i>	<i>1.53 ± 0.03 a</i>	<i>1.08 ± 0.24 b</i>	<i>7.37 ± 0.04 b</i>	<i>10.55 ± 0.16 a</i>	<i>3.00 ± 0.04 b</i>	<i>6.12 ± 0.30 a</i>

^A Values are presented as mean value ± SD (n = 3) and expressed as mg/100g of dry weight. Means in rows followed by different letters differed significantly (p≤0.05).

Table 3. Bound phenolic acid content of raw and boiled millet^A.

	raw	boiled
Chlorogenic acid	0.25 ± 0.00 b	0.49 ± 0.02 a
Caffeic acid	0.00 ± 0.00 b	0.10 ± 0.00 a
Vanillic acid	0.98 ± 0.10 b	1.27 ± 0.06 a
<i>p</i> -Coumaric acid	0.77 ± 0.02 b	1.09 ± 0.01 a
Sinapinic acid	0.84 ± 0.06 b	1.44 ± 0.04 a
Ferulic acid	45.80 ± 0.22 b	59.01 ± 4.31 a
Gallic acid	0.24 ± 0.01 a	0.15 ± 0.03 b
Protocatechuic acid	1.20 ± 0.02 a	0.84 ± 0.03 b
<i>Total phenols</i>	<i>63.12 ± 4.35 b</i>	<i>82.67 ± 0.81 a</i>

^AValues are presented as mean value ± SD (n=3) and expressed as mg/100g of dry weight. Means in rows followed by different letters differed significantly (p≤0.05).

Table 4. Total phenol content of raw and boiled cereals analysed by Folin-Ciocalteu colorimetric method^A.

	Free	Bound	Total
<i>fonio</i>			
raw	108.06 ± 1.54 a	270.21 ± 5.22 a	378.27 ± 4.58 a
boiled	89.18 ± 1.47 b	260.45 ± 1.48 b	349.63 ± 1.18 b
<i>millet</i>			
raw	142.05 ± 4.47 a	508.63 ± 13.24 a	650.68 ± 17.16 a
boiled	117.31 ± 3.99 b	235.17 ± 0.60 b	352.49 ± 4.32 b
<i>sorghum</i>			
raw	77.52 ± 0.64 a	439.14 ± 4.07 a	516.66 ± 4.24 a
boiled	39.86 ± 0.15 b	243.41 ± 7.92 b	283.28 ± 7.82 b

^A Values are presented as mean value ± SD (n = 3) and expressed as mg/100g of dry weight. Means in column followed by different letters differed significantly (p≤0.05).

Table 5. Total antioxidant capacity of cereals analysed by the extraction/hydrolysis procedure^A.

	Water	Ethanol	Bound	Total
		<i>fonio</i>		
raw	0.39 ± 0.02 a	0.08 ± 0.00	0.90 ± 0.04 a	1.37 ± 0.06 a
boiled	0.06 ± 0.01 b	n.d.	0.50 ± 0.04 b	0.56 ± 0.03 b
		<i>millet</i>		
raw	0.42 ± 0.00 a	0.29 ± 0.01 a	0.89 ± 0.01 a	1.60 ± 0.02 a
boiled	0.04 ± 0.00 b	0.14 ± 0.01 b	0.69 ± 0.02 b	0.87 ± 0.01 b
		<i>sorghum</i>		
raw	0.17 ± 0.01 a	0.36 ± 0.02 a	0.95 ± 0.04 a	1.48 ± 0.05 a
boiled	0.03 ± 0.00 b	0.11 ± 0.01 b	0.59 ± 0.08 b	0.72 ± 0.08 b

^A Values are presented as mean value ± SD (n=3) and expressed as mmol of Trolox/100g on dry weight basis. Values in column followed by different letters differed significantly (p≤0.05).

n.d.= not detected.

Table 6. Total antioxidant capacity of cereals analysed by the direct procedure^A.

Cereal	raw	boiled
Fonio	3.22 ± 0.16 a	1.00 ± 0.04 b
Millet	3.65 ± 0.04 a	1.09 ± 0.06 b
Sorghum	3.61 ± 0.15 a	0.75 ± 0.02 b

^A Values are presented as mean value ± SD (n=3) and expressed as mmol of Trolox/100g on dry weight basis. Means in rows followed by different letters differed significantly (p≤0.05).

Chapitre 5: Conclusion

CONCLUSION

Malgré des difficultés dues à la distance, à l'échantillonnage, à la disponibilité du matériel biologique, une étude a été conduite sur quelques produits locaux de la Côte d'Ivoire: *Ricinodendron heudelotii*, *Vigna subterranea*, *Solanum indicum*, *Sorghum Guinea-bicolor*, *Pennisetum glaucum* et *Digitaria exilis*. Cette étude a été patronnée par les Professeurs Furio Brighenti et Nicoletta Pellegrini en collaboration avec les docteurs Daniele Del Rio, Francesca Scazzina, Massimiliano Rinaldi, Maria Cristina Casiraghi, Luca Calani et Teresa Mazzeo.

Des analyses biochimiques, physiques et de masses effectuées sur ces différents produits ont montré la justesse de ce travail. Ces analyses ont été effectuées au laboratoire de Nutrition de la Faculté d'Agronomie de Milan et celui de Santé Publique, de Technologie Alimentaire et du Département de Chimie de l'Université de Parma

Ces produits, généralement consommés dans les pays du sahel et au Centre-Nord de la Côte d'Ivoire, sont aujourd'hui appréciés sur toute l'étendue du territoire ivoirien sans toute fois en connaître suffisamment la valeur nutritionnelle.

Tout le matériel biologique qui a fait l'objet de cette étude a montré une valeur nutritionnelle appréciable. En particulier, les deux légumes analysés (*Ricinodendron heudelotii*, *Vigna subterranean*) ont montré qu'ils constituent une excellente source de macro et micronutriments et composés antioxydants. Alors que le *Ricinodendron heudelotii*, particulièrement riche en matière grasse à plus de 56%, pourrait faire l'objet d'une étude spécifique et plus approfondie portant sur l'extraction de l'huile et sa caractérisation pour mieux en apprécier la valeur nutritionnelle. La *Vigna subterranean*, avec un taux d'amidon de plus de 52%, peut être considéré comme un aliment amylicé et à ce titre pourrait faire l'objet d'une exploitation industrielle. De plus, la détermination de son contenu en amidon résistant pourrait apporter un plus à la caractérisation de la valeur nutritionnelle de l'aliment. En outre, ces légumes sont aussi une bonne source de composés antioxydants en particulier les polyphénols. Il serait donc intéressant, en prenant en compte les bénéfices nutritionnels associés à ces composés, d'effectuer une caractérisation de ces composés phénoliques outre à déterminer les meilleures techniques de cuisson pour préserver la valeur nutritionnelle de ces aliments.

Les analyses effectuées sur le *Solanum indicum* ont montré que le contenu en vitamine C décroît avec la maturation et celui du lycopène et β -carotène croît avec la maturation, cela donne une information capitale sur les périodes idéales de consommation du fruit. En considération du contenu élevé de substances antioxydantes, cet aliment surtout s'il est consommé à maturation complète, pourrait donc être utile pour améliorer l'état antioxydant des populations de l'Afrique subsaharienne.

En outre, on a observé que 100g de *Solanum indicum* son en mesure de couvrir presque 30% du RDA de vitamine A. Pour le fait que la carence de cette vitamine est encore un problème de santé publique en Afrique subsaharienne, la consommation de cet aliment pourrait aider à prévenir la carence de cette vitamine. Il reste cependant à étudier l'effet que la cuisson a sur la composition en antioxydants de cet aliment.

Les trois céréales (sorgho, mil et fonio), de par leur composition biochimique et surtout grâce à leur contenu en substances antioxydantes, ils sont à considérer comme d'excellents ingrédients à utiliser pour préparer de la bouillie pour les enfants au petit déjeuner, et de succulents repas du soir pour toute la famille. La caractérisation phénolique de ces céréales a montré qu'ils sont riches en composés phénoliques mais que malheureusement une partie se perd au cours de la cuisson. Il serait donc intéressant de pouvoir, comme dans le cas des légumes analysés, étudier de nouvelles techniques de cuisson qui puisse en préserver le contenu.

En perspectives et d'une manière générale, en tenant compte des modalités d'utilisation des aliments étudiés dans notre cuisine locale (on les utilise comme liant et aromatisant des sauces, on en fait des sauces, on en utilise aussi comme substances soignantes etc.), il est judicieux de suggérer qu'à chaque repas, au moins un ou deux de ces aliments soient utilisés dans la préparation des mets.

Ainsi la consommation de céréales (sorgho, mil et fonio) principalement consommées dans le Nord, le pois de terre au Centre-Nord et Ouest, akpi et gnagnan au Centre-Sud, est à encourager sur toute l'étendue du territoire ivoirien. Si hier nous consommions ces aliments par simple habitude alimentaire, aujourd'hui, conscients de leur composition et des bienfaits qu'ils peuvent nous apporter, nous devrions les intégrer davantage dans notre alimentation quotidienne.